

<원저>

방사선치료 시 전자포털 영상장치를 이용한 잡음전력스펙트럼 수평 및 수직 측정비교

- Comparison of Horizontal and Vertical Noise Power Spectrum in Measurements by Using Various Electronic Portal Imaging Devices in Radiation Therapy -

강동경희대병원 영상의학과·¹⁾서울아산병원 영상의학과·²⁾백석문화대학교 방사선과
³⁾순천향대학교 의과학과·⁴⁾동남보건대학교 방사선과·⁵⁾원광보건대학교 방사선과·⁶⁾신구대학교 방사선과
 김기원·최관우¹⁾·정희원²⁾·장서구³⁾·권경태⁴⁾·손순룡⁵⁾·손진현⁶⁾·민정환⁶⁾

— 국문초록 —

영상화 품질향상은 방사선 치료영역과 진단영역의 영상화 검사와 같이 quality assurance (QA) 장비들의 특성평가에 매우 중요한 요소이다. 본 연구의 목적은 치료장비의 megavoltage X-ray 에너지를 사용하여 측정방법에 있어서 NPS에 대한 수평, 수직적인 방법에 대한 측정결과를 비교 평가하는 것이다.

잡음전력스펙트럼 평가 방법들은 국제 전기 규격 international electro-technical commission (IEC 62220-1) 기준을 사용하여 치료 영역에 적용되었다. 사용한 전자포털 영상장치(electronic portal imaging device, EPID)는 Siemens BEAMVIEW^{PLUS}, Elekta iViewGT 그리고 Varian Clinac^R iX aS1000이었다. 데이터들로부터 각각의 주파수 값에 대응하는 노이즈 값들의 평균에 대해서, 각각의 주파수 별로 대응해서 표현하였으며, 수평 수직되어있는 주파수별 평균값의 노이즈값을 합산해서 정량적으로 장비마다 비교 평가하였다.

결과값은 Elekta iView에서 4가지 방법론에 의한 가로방향에서의 horizontal측정된 NPS값과 vertical 세로방향에서의 측정치는 비슷한 경향성에 따라서 horizontal과 vertical값은 3~5%정도의 차이가 있었으며, Siemens BEAMVIEW^{PLUS}, Varian Clinac^R iX aS1000에서 horizontal측정된 NPS값과 vertical 측정된 NPS값은 편차의 차이가 전체값의 평균으로 했을 시 horizontal과 vertical값은 15%정도의 차이가 나타남을 보였다.

본 연구에서는 수평 수직되어있는 주파수별 평균값의 노이즈값을 합산해서 정량적으로 장비마다 비교 평가하였으며, 정량적인 평가방안을 제시하였다는 점을 들 수 있다.

중심 단어: 잡음전력스펙트럼, 전자포털영상장치, 질평가

I. INTRODUCTION

영상화 품질은 방사선 치료영역에서도 진단영역의 영상화 검사와 같이 quality assurance (QA) 장비들의 특성을 확인하는 매우 중요한 요소이다. 영상의 질을 평가 즉 QA는 일반적으로 변조전달함수(modulation transfer function,

MTF), 잡음전력스펙트럼(noise power spectrum, NPS), 양자검출효율(detective quantum efficiency, DQE)와 같은 3가지 측정방법을 사용한다^[1-5]. 치료영역에서도 디지털 의료영상의 사용의 증가로 인하여, 전자포털 영상장치(electronic portal imaging device, EPID) 장비의 영상의 질을 평가하고 다양한 특성들을 비교하는 것이 가능

해졌다^[6,7]. EPID는 방사선 치료분야의 indirect digital radiography (IDR)에서 흔하게 사용되는 하나의 일반적인 장비이며, megavoltage X-ray imaging (MVI) 메가 볼트 영상은 많은 치료의학 영상에서 사용되어 왔으며, 또한 이러한 발전과 함께 영상품질의 방법으로 MVI 잡음전력스펙트럼(NPS)에 대한 방법론에 대해 필요하게 되었다^[6,7]. 최근에 American association of physicists in medicine (AAPM) and international electro-technical commission (IEC)의 전문가들은 측정의 기준을 개발하였으며, penumbra, flatness, NPS 측정들에 대해서 기준화 하였다^[8-10]. 또한, NPS는 영상시스템의 잡음(noise) 점유를 검출하는데 사용되는 방법 중 하나이며, NPS의 결과값들을 비교하기 위해 중요한 이론적 차이점들이 나타나고 있다고 보고 되어왔다^[11]. NPS는 White image를 사용한 2D FFT 방법으로 측정하였으며, fast Fourier transform (FFT)로 얻어진 영상은 주파수 방향에 따라서 frequency encoding방향과 phase encoding방향으로 비교할 수 있다. 이는 일반영상에 있어서도 주파수의(cutoff frequency, 차단주파수)에 따라서 달리 나타날 수 있으며, MR에서 영상 데이터를 빠른 방법에 의해서 저장하는 방법론으로 본다면 echo train length (ETL)에 의해서도 공간주파수의 저하 또는 비대칭 현상이 일어나게 된다. 따라서 모든 영상에 있어서 저장하는 방법과 가상공간의 활용방법에 따라서 가로방향에서의 horizontal 측정된 NPS값과 vertical 세로방향에서의 측정치는 달라질 수 있음을 의미한다. 그러므로 방사선 치료영역에서 NPS 평가에 대한 MVI 영역의 4가지 factor들을 이용하여 수평, 수직적인 평가방법을 제안한다^[3]. 본 연구의 목적은 치료장비의 megavoltage X-ray 에너지를 사용하여 측정방법에 있어서 NPS에 대한 수평, 수직적인 방법에 대한 측정결과를 비교 평가하는 것이다.

II. MATERIALS AND METHODS

1. The X-ray imaging system

3개의 electronic portal imaging device (EPID)장비의 source-detector distance (SDD)는 132 cm으로 하였다. 그리고 Siemens BEAMVIEW^{PLUS}는 $41 \times 41 \text{ cm}^2$ 의 감도영역과 1024×1024 의 광전 다이오드 배열을 가지고 있는 형광 화면 검출기로 되어있으며, Elekta iViewGT는 $41 \times 41 \text{ cm}^2$ 의 감도영역과 1024×1280 의 광전 다이오드 배열을 가지고 있고, Varian Clinac^R iX의 aS1000은 $40 \times 30 \text{ cm}^2$ 의

감도 영역을 가지고 1024×768 광전 다이오드 배열을 포함한다.

측정들은 위와 같이 실제 임상에서 사용되는 3개의 IDR MVI 시스템을 사용하였다. IDR MVI 시스템들은 1세대 lens-coupled video electronic portal imaging device (EPID) Siemens BEAMVIEW^{PLUS}와 간접 검출 a-Si 평판형 EPID Elekta iViewGT 그리고 Varian Clinac^R iX 장비의 Varian aS1000을 사용하였다.

2. Image acquisition

전송 방사선의 profile 모양은 megavoltage energy percentage depth dose (PDD) profile모양에 근접할 것이며, noise errors는 기준평가의 정확성에 영향을 줄 것이라고 생각된다. 또한 이런 영향 인자로부터의 NPS측정은 noise 점유율에 대한 NPS측정을 가능하게 만들고 있다.

Field size를 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 으로 연 후 중심 축의 입사표면의 중심에서 양쪽 수평 등거리 지점은 참고점으로 지정되었으며, 일반적으로 field를 open시 양쪽이 같은 거리에 있음을 표시한다. 그리고 2D profile은 지정영역에서 NPS 측정의 white 2D 영상들로서 표현되어진다(Fig. 1).

기존의 검출기와 동일하게 132 cm에서 EPID systems의 출력을 측정하였다. 거리는 장비마다 최대 SSD기준으로 해서 틀리기 때문에 기준을 동일시 하였다. NPS값은 분해능과 연관이 있으며, 예기치 못한 신호 편차에 의한 MV X-ray 영상 projection 동안 NPS는 영상 보정을 수행할 수 있다. 특히 획득된 noise 진폭은 아트팩트로 인식될 수 있다. 기준 MV 에너지 선속의 중심축은 검출기 방향을 통과하며, 2D white 영상들은 감쇠와 산란에 의해 획득되었고, 2D FFT는 변환되었다. 그리고 획득된 영상들을 주파수 별로 평균하여 산출하였다. Matrix는 작은 영역으로부터 다양한 측정 방법에 의한 자세한 처리를 겪으며 몇몇의 추출된 1D profile들을 나타내게 된다(Fig. 1). 이 데이터들로부터 각각의 주파수값에 대응하는 노이즈 값들의 평균에 대해서, 각각의 주파수 별로 대응해서 NPS로 표현한다.

3. Analysis of the NPS

Noise는 영상 시스템 신호로부터 불확실성과 부정확성을 나타낸다. NPS는 영상 시스템의 점유와 noise 진폭들을 묘사 한다. 평가를 위해 white 영상들은 획득되었으며 NPS는 공간주파수 도메인에서 변동으로 표현되었다. 결과는 1D NPS 값을 대역대를 통한 2D NPS 공간으로부터의 축의 평균으로써 표현된다. 따라서 영상으로부터 2D FFT는 region

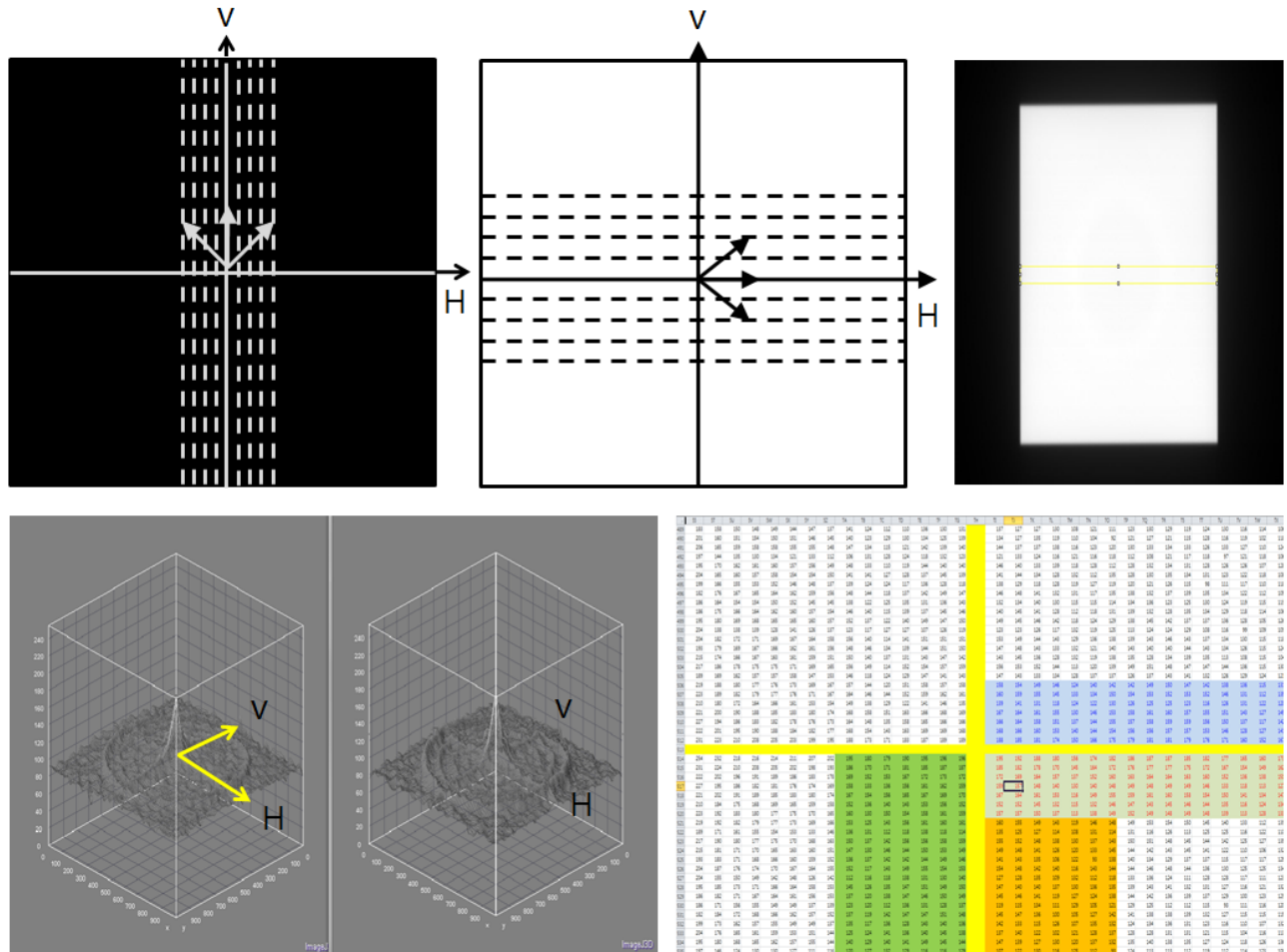


Fig. 1 Images were divide into 4 area, and quadrant were standardize by using IEC method or 3 methods. The change of noise according to spatial resolution for each detector. NPS data were expressed by corresponding each frequency about average of noise value corresponding the each frequency, and NPS were evaluated quantitatively by totaling up the noise values of average frequency which are on horizontal and vertical directions

of interest (ROI)영상에서 실행되었으며 추적 보정은 전체 영상크기에 추출 ROI에 의해 계산되었다. NPS 분석의 중요한 요인들은 아래와 같이 묘사되며, 본 실험에선 2D white images 사용하였고 NPS data를 비교하였다.

NPS방법은 4가지 방법으로 구분했으며, 구분된 영상들을 서론에서 이야기 한 것처럼 수평, 수직적인 방법에 대해서 비교 평가하는 것이다. 따라서, 첫번째 영상 data는 256×256 으로부터의 각각 영상 overlapping에 의해 획득되었다. 두번째 영상 data는 256×256 으로부터의 각각 영상 non-overlapping에 의해 획득되었다. 세번째 영상 data는 256×256 으로부터의 각각 영상 flatness에 의해 획득되었다. 네번째 영상 data는 256×256 으로부터의 각각 영상 symmetric에 의해 획득되었다. 그러므로, 영상을 4구역으로 나누고 각각의 분면을 IEC방법을 이용하거나, 다른 방법을

이용하여 양방향으로 기준화 하였으며, 검출기에 따라 공간 주파수에 따른 noise 변화를 비교하였다^[3]. 이때 데이터들로부터 각각의 주파수값에 대응하는 노이즈 값들의 평균에 대해서, 각각의 주파수 별로 대응해서 표현하였으며, 수평 수직되어있는 주파수별 평균값의 노이즈값을 합산해서 정량적으로 장비마다 비교 평가하였다(Fig. 2-5).

III. RESULTS AND DISCUSSION

NPS는 EPID검출기들의 작은 field of view (FOV)와 큰 pixel size로 인해 1.2 mm^{-1} 까지로 제한되었으며, Fig 2-5는 연구된 3개의 EPID 검출기들에서 각각의 NPS profile들과 NPS에서의 추가적인 잡음의 효과를 나타낸다. 이러한

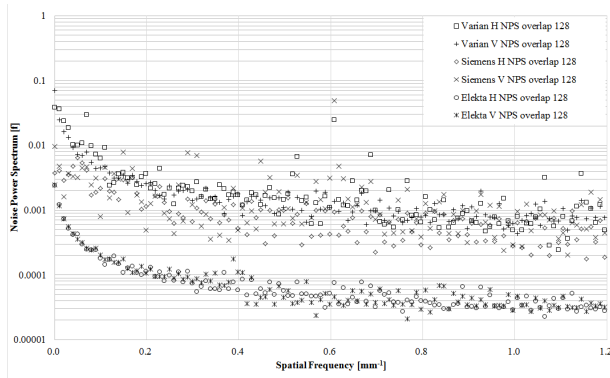


Fig. 2 NPS results of overlapping factor on horizontal and vertical directions in a 256×256 ROI size. According to IEC 62220-1 method, detectors were compared the spatial frequency of the noise changes

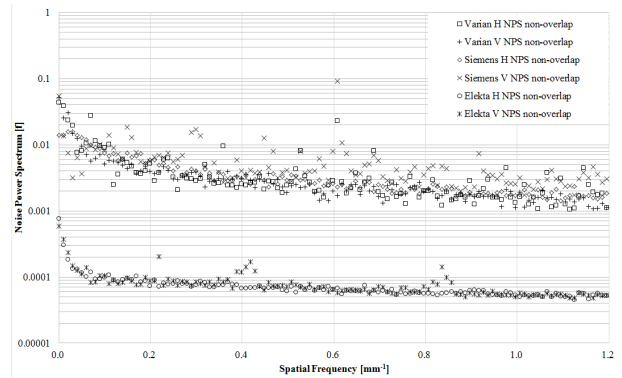


Fig. 3 NPS results of non-overlapping factor on horizontal and vertical directions in a 256×256 ROI size. The detectors were compared the spatial frequency of the noise changes

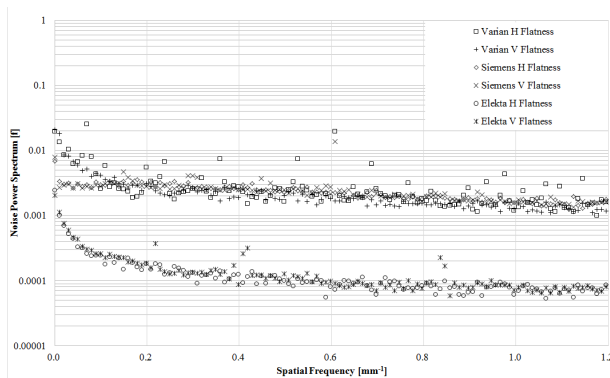


Fig. 4 NPS results of flatness factor on horizontal and vertical directions in a 256×256 ROI size. The detectors were compared the spatial frequency of the noise changes

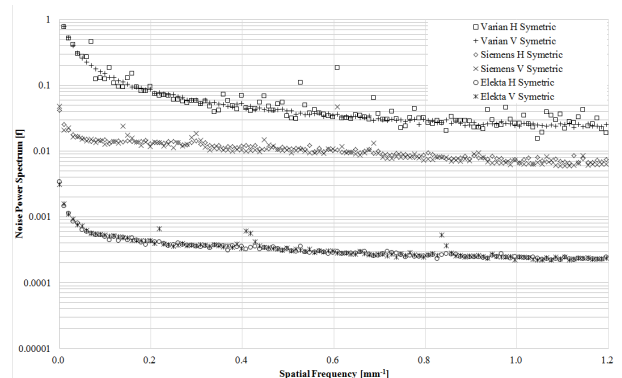


Fig. 5 NPS results of symmetric factor on horizontal and vertical directions in a 256×256 ROI size. The detectors were compared the spatial frequency of the noise changes

차이점에도 불구하고 공간 주파수가 증가 할수록 검출기들은 noise 분포의 하락을 보였다. 이는 공간 주파수가 증가할수록 noise 분포가 하락하는 이전의 연구 결과인 간접 검출기의 NPS 분포에 대한 결과와 비슷한 분포를 보였으며, 높은 noise 값은 NPS의 좋지 않은 결과 값을 의미하며, 반대로 낮은 noise 값은 좋은 결과 값을 의미하게 된다^[4].

EPID 검출기는 Siemens BEAMVIEW^{PLUS}와 간접 검출 a-Si 평판형 EPID Elekta iViewGT 그리고 Varian Clinac^R iX 장비의 Varian aS1000이었다. 검출기로부터 얻은 영상 data는 256×256 로부터의 각각의 4가지 factor overlapping, non-overlapping, flatness, symmetric에 의해 획득되었으며, Fig 2-5의 결과값은 Elekta iViewGT가 가장 좋은 noise 분포를 보였으며, Siemens BEAMVIEW^{PLUS}, Varian Clinac^R iX aS1000순으로 좋은 noise 분포를 보였다. 또한 Fig 2-5의 결과값은 Elekta iView에서 4가지 방법론에 의한 가로방향에서의 horizontal측정된 NPS값과

vertical 세로방향에서의 측정치는 비슷한 경향성에 따라서 horizontal과 vertical값은 3~5%정도의 차이가 있었으며, Siemens BEAMVIEW^{PLUS}, Varian Clinac^R iX aS1000에서 horizontal측정된 NPS값과 vertical 측정된 NPS값은 편차의 차이가 전체값의 평균으로 했을 시 horizontal과 vertical값은 15%정도의 차이가 나타남을 보였다. 그래프의 결과에서 보듯이 비슷한 경향성을 가지고 NPS 그래프의 커브가 핏팅이 됩니다. 이런 이유는 측정값에 따라서 예측과 틀리게 달라질 수도 있지만, 경향성은 비슷함을 알 수 있으며, K-space의 저주파나 고주파의 피팅과 비슷합니다. 또한 결과에서 Siemens BEAMVIEW^{PLUS}, Varian Clinac^R iX aS1000는 비슷한 수준의 noise를 보이고 있지만 noise의 진동폭은 더 큰 것을 확인할 수 있는데, 이는 flattening filter의 선 속 연화에 따른 불균형 분포에 기인한다고 볼 수 있다. 따라서 noise는 불확실성을 나타내고 이러한 불확실성은 진단과 치료에 영향을 미치게 되는데, 본 연구에서는

가로방향에서의 horizontal 측정된 NPS값과 vertical 세로 방향에서의 차이점이 있음을 확인할 수 있었으며, FFT로 얻어진 영상은 주파수 방향에 따라서 frequency encoding 방향과 phase encoding 방향으로 비교할 수 있었다. 이는 주파수의 차단주파수(cutoff frequency)에 따라서 달리 나타났으며, 공간주파수의 저하 또는 비대칭 현상이 일어나게 됨을 알 수 있었다. 따라서, NPS는 대조도와 연관이 있기 때문에 검출기의 신호값은 영상 진단 영역에서 초점이 맞춰져야 한다. 그러므로, 신호는 noise로부터의 공간주파수 경사의 차이점에 의해 영향을 받는다. 이는 noise의 property와 조건이 일반적으로 낮은 대조도 신호에 영향을 주기 때문에 영상 품질의 특성은 중요한 요소이다.

결론적으로, 실험에서는 그 중 가장 중요한 잡음과 관련 있는 데이터 값들을 평균해서 주파수별로 수직, 수평적인 값들을 그래프로 표현하였으며, 노이즈 분포에 대해서 정량적 평가방법인 국제 전기 규격 international electro-technical commission (IEC 62220-1) 기준을 사용하여 측정 실험하였다^[3]. 또한 IEC방법과 다른 나머지 3가지 방법론은 다양한 방법으로 NPS를 측정할 수 있는 방법으로 알 수 있다. 따라서 결과를 종합해보면, 각각의 검출기들은 MV 에너지에 다른 NPS 결과값을 보였으며, NPS 커브의 모양은 공간주파수가 증가할 때 감소한다는 것을 보여준다. 그러므로, 다양한 NPS 분석 방법들은 측정된 NPS에서 적은 효과를 주었으며, 이는 여러 장비를 비교할 수 있다고 보여진다. 따라서, 연구에 사용된 검출기들은 MVI NPS 측정들에 의해서 수직 수평적으로 적어도 작은 영향을 주었다고 생각을 한다. 일반적으로 선형적인 2D 선량분포의 영상을 가지고 선량이 3D처럼 분포되어지기 때문에 NPS는 치료영역에서 중요한 부분으로 차지하고 있음을 알 수 있다. 그러나 기존의 선량측정방법에 의한 선량 측정을 반영한다면, 좋은 결과를 얻을 수 있다고 사료되지만, 본 연구에서는 선량에 대한 정량적인 평가방법론에 대해서 이야기 하므로 적용대상에 대해서는 디텍터의 성능 및 선속평탄여과판의 기능 등을 확인할 수 있는 실험이었다고 생각을 한다. 또한, 반응영과 평탄도를 측정하는 처리가 선량분배의 불균형과 산란의 결과를 만들었기 때문에 MVI영상화에 있어서 본 연구에서 제안한 방법이 방사선 치료 영역에서 적용될 수 있다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다.

IV. CONCLUSION

본 연구에서는 치료 디지털 영상을 4가지 방법론에 대해

서 IEC방법을 이용하여 양방향으로 기준화 하였으며, 검출기에 따라 공간주파수에 따른 noise 변화를 확인하였으며, 이때 데이터들로부터 각각의 주파수값에 대응하는 노이즈값들의 평균에 대해서, 각각의 주파수 별로 대응해서 표현하였다. 특정 방법에 대해서, 데이터에 영향을 미칠 수 있는 제한 점이 있기는 하지만 향상된 의료영상의 특성을 확인하는 계기가 되어야 한다고 생각을 한다. 또한, 본 연구에서는 수평 수직되어있는 주파수별 평균값의 노이즈값을 합산해서 정량적으로 장비마다 비교 평가하였으며, 정량적인 평가 방안을 제시하였다는 점을 들 수 있다.

REFERENCES

1. Hoi-Woun Jeong, Jung-Whan Min, Jung-Min Kim et al: Performance characteristic of a Cs I (TI) Flat panel detector radiography system. *Journal of Radiological Science and Technology*, 35(2), 109-117, 2012
2. Jung-Min Kim, Jung-Whan Min, Hoi-Woun Jeong et al: Correction Method of slit Modulation Transfer function on Digital Medical Imaging System. *Journal of Radiological Science and Technology*, 29(3), 133-139, 2006
3. Soon-Yong Son, Hoi-Woun Jeong, Jung Whan Min et al: Comparison of noise power spectrum methodologies in measurements by using Various Electronic Portal Imaging Devices in Radiation Therapy. *Journal of Radiological Science and Technology*, 39(1), 97-104, 2016
4. Soon-Yong Son, Hoi-Woun Jeong, Jung Whan Min et al: Evaluation of Image Quality for Various Electronic Portal Imaging Devices in Radiation Therapy. *Journal of Radiological Science and Technology*, 38(4), 451-461, 2015
5. Soon-Yong Son, Hoi-Woun Jeong, Jung Whan Min et al: Measurement of Image Quality According to the Time of Computed Radiography System. *Journal of Radiological Science and Technology*, 38(4), 365-374, 2015
6. Gopal A, Samant SS. Use of a line-pair resolution phantom for comprehensive quality assurance of

- electronic portal imaging devices based on fundamental imaging metrics. *Med Phys* 36, 2006–2015 2009
7. Sawant A, Antonuk LE, El-Mohri Y. Slit Design for Efficient and Accurate MTF Measurement at Megavoltage X-ray Energies. *Med Phys* 34, 1535–1545, 2007
 8. Seibert JA, Bogucki TM, Ciona T, Huda W, Karellas A, Mercier JR, et al. Report of AAPM Task Group 10, 1, 2006
 9. IEC (International Electrotechnical Commission), IEC 62220–1 (2003)
 10. Dobbins III JT, Samei E, Ranger NT, et al: Intercomparison of methods for image quality characterization, II. Noise power spectrum. *Med Phys* 33, 1466–1475, 2006
 11. Cho HM, Kim HJ, Lee CL, et al: Imaging characteristics of the direct and mobile indirect digital radiographic systems. *Proc IEEE M19–199*, 3840–3846, 2007

•Abstract

Comparison of Horizontal and Vertical Noise Power Spectrum in Measurements by Using Various Electronic Portal Imaging Devices in Radiation Therapy

Ki-Won Kim·Kwan-Woo Choi¹⁾·Hoi-Woun Jeong²⁾·Seo-Goo Jang³⁾
 Kyung-Tae Kwon⁴⁾·Soon-Yong Son⁵⁾·Jin-Hyun Son and Jung-Whan Min⁶⁾

Department of Radiology, Kyung Hee University Hospital at Gang-dong

¹⁾*Department of Radiology, Asan Medical Center*

²⁾*Department of Radiological Technology, Baekseok Culture University*

³⁾*Department of Medical Science, Soonchunhyang University*

⁴⁾*Department of Radiological Technology, Dongnam Health University*

⁵⁾*Department of Radiological Technology, Wonkwang Health Science University*

⁶⁾*Department of Radiological Technology, Shingu University*

The quality assurance (QA) is very important for diagnostic field and radiation therapy field to evaluate the characteristic of devices. The purpose of this study was to compare different NPS methodologies results which are measuring NPS with regard to horizontal and vertical directions by using megavoltage X-ray energies.

The NPS evaluation methods were applied to the International Electro-technical Commission standard (IEC 62220-1). The electronic portal imaging devices (EPID) devices such as Siemens BEAMVIEW^{PLUS}, Elekta iViewGT and Varian Clinac^R iX aS1000 were used. NPS data were expressed by corresponding each frequency about average of noise value corresponding the each frequency, and NPS were evaluated quantitatively by totaling up the noise values of average frequency which are on horizontal and vertical directions.

In NPS results for Elekta iViewGT, NPS of horizontal and vertical by using 4 methods were indicated the difference of 3~5% between horizontal and vertical direction. In the results of Siemens BEAMVIEW^{PLUS} and Varian Clinac^R iX aS1000, the NPS of horizontal and vertical direction were indicated the difference of 15% when averaging the whole values.

This study were evaluated the NPS of each devices by totaling up the noise values of average frequency which are on horizontal and vertical directions suggesting the quantitative evaluation method using the data.

Key Words : Noise power spectrum (NPS), Electronic portal imaging device (EPID), Quality assurance (QA)