

자기공명영상장치의 성능비교를 위한 접근방법

이 윤, 주희연, 김일영, 이만우, 안창범*, 오창현, 이홍규**

고려대학교 자연과학대학 전자 및 정보공학부

* 광운대학교 공과대학 전기공학과

** (주) 메디슨 MRI 사업부

The Approach Method for the Performance Comparison of Magnetic Resonance Imager

Y. Yi, H. Y. Ju, I. Y. Kim, M. W. Lee, C. B. Ahn*, C. H. Oh, and H. K. Lee**

Dept. of Electronics and Information Eng. Korea University

* Dept. of Electrical Eng. Kwangwoon University

** Div. of MRI, Medison Inc.

ABSTRACT

In the assessment of the performance of a magnetic resonance imaging unit, there are many parameters to be measured. Such measured parameters are not often meaning by itself. Namely, it need to be compared with some standard. Since there is no gold standard MRI, only can be compared with a worldly renowned product. In this report, we attempted to compare a few MRI parameters for the assessment of the performance of 1 Tesla MRI unit which is domestically developed. Though we did not measure all the parameters related to hardware aspects and software aspects for the full comparison, there few parameters may elucidate some important aspects of MRI unit.

간선형성(Spatial Linearity) 등이 있다. 실질적으로 모든 변수를 측정하는 것은 불필요한 시간낭비일 수 있으며, 몇 가지 변수만으로도 영상장치 품질의 평가는 가능하다. 영상품질점검시 변화의 정도에 가장 민감한 것이 신호대잡음비이며, 단면두께의 측정 또한 여러 변수들과 밀접한 관련이 있으므로 측정, 분석하는 것이 바람직하다.

영상의 실험변수의 타당성을 확인하기 위해서는 미국물리학회에서 규격화한 실험모형을 이용하여 측정할 수 있다. 본 보고에서는 Data Spectrum사의 실험모형과 Nuclear Associate사의 범용실험모형(Multi-purpose Phantom)을 이용하여 신호대잡음비, 단면두께와 영상균일도를 비교하였으며, 이 수치를 이용하여 국제적으로 알려진 S사의 영상장치와 국내에서 개발 중인 초전도 자기공명영상장치(이하 M)의 성능비교에 관한 기준을 제시하고자 한다.

I. 서 론

자기공명영상장치는 최신영상진단기로서 고가의 장비임에도 불구하고 넓은 진단 범위, 다양한 진단방법, 정확성 및 인체의 안전성 등으로 인해 최근 그 수요가 급증하고 있다. 이러한 영상장치의 품질을 계속적으로 유지하기 위해서는 그 수행능력과 기능성을 확인할 수 있는 일정한 점검이 요구된다. 이것은 영상이 최적의 상태가 아닐 경우, 그 증상이 영상에 바로 반영되어 진단상의 오류를 범할 수 있기 때문이다. 영상장치의 점검에 이용할 수 있는 여러 변수에는 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio), 단면두께(Slice Thickness), 영상균일도(Image Homogeneity), 공

II. 실험변수의 소개 및 방법

영상장치의 성능을 비교하기 위해 이용된 몇 가지 실험 변수만을 소개하고자 한다.

A. 실험변수

· 신호대잡음비(Signal to Noise Ratio) :

자기공명영상에서 물리적인 특성에 의해 생기는 잡음을 제거하기는 불가피하므로 순수한 신호만을 관찰하기는 어렵다. 잡음의 원인이 되는

요인은 신체 내부에 있는 대전된 입자들의 분자 운동에 의해 생기는 전자기적 잡음과 수신부 coil의 전기적 저항 등에 의해서 발생한다. 따라서 신호대잡음비의 측정은 영상품질유지의 기준으로 이용될 수 있다. 균일신호발생부위의 표준편차(σ_A)를 잡음으로 정의한다면, 영상신호의 크기는 신호발생부위와 신호가 발생하지 않는 부위의 차이로 정의된다. 따라서 신호대잡음비는 다음과 같이 표현된다.

$$SNR = \frac{S_A - S_B}{\sigma_A}$$

S_A 는 균일발생부위(ROI : Region of Interest)내의 평균신호값이며, S_B 는 신호가 발생하지 않는 바탕부위의 평균값이다. 그러나, 이 방법에서는 RF 불균일성 등에 기인한 영상 불균일성이 잡음에 함께 계산이 되므로 순수한 잡음만을 얻을 수 없다. 따라서 구조성에 기인한 잡음(structured noise)을 제거하기 위해서는 같은 영상조건으로 2번 영상을 하여서 그 차이영상으로부터 순수잡음을 계산할 수 있다. 위의 방법과 같이 신호의 크기는 단일영상으로부터 얻고, noise는 차이영상에서 같은 ROI의 표준편차 값을 취한다. 이 때의 SNR은

$$SNR = \frac{S_A - S_B}{\sigma_A} \times \sqrt{2}$$

로 표현되며, 잡음은 두 영상을 합하거나 제할 때 $\sqrt{2}$ 배로 증가한다. 원래의 영상에서의 잡음은 차이영상에서 잡음의 $1/\sqrt{2}$ 배가되므로 차이영상으로부터 차이영상의 잡음에 $\sqrt{2}$ 항이 추가되었다.

· 단면두께(Slice Thickness) :

단면두께는 측정할 단면의 공간적인 깊이를 나타내며, 주어진 영상에서 단면 profile의 최대치의 반이 되는 곳의 폭(FWHM : Full Width Half Maximum)으로 또는 최대치의 1/10 되는 곳의 폭(FWTM : Full Width Tenth Maximum)으로 정의할 수 있다. 여러 가지의 phantom들이 단면두께를 측정하는데 사용될 수 있는데, 일반적으로 이용되는 phantom의 구조는 위상각 θ 로 서로 평행한 ramp 쌍으로 구성되어 있다. 단면두께 확인을 위한 Data Spectrum사의 모형구조는 14° 각도로 평행한 ramp로 되어 있으며, 사이거리는 3mm 이다. 단면두께의 정의식을 다음과 같이 표현하면,

$$\text{단면두께} = \frac{\text{profile 폭}}{\text{영상반경}} \times \text{반경(radius)} \times \tan 14^\circ$$

이 된다.

단면의 두께 선택에 영향을 주는 요소로는 경사자계의 불균일성(nonuniformity), rf field의

불균일성, 주자기장의 불균일성 등의 하드웨어에 의한 요소가 있으며, rf 펄스의 형태와 같은 사용자가 선택적으로 사용할 수 있는 요소 등이 있다. 단면두께의 설정치와 실제값은 설정치가 5 mm 이하인 경우는 20% 이하, 설정치가 5 mm 이상인 경우는 1mm 이하에서 일치하여야 한다.

· 영상균일도(Image Homogeneity) :

자기공명영상장치에서 영상화되는 체적으로부터 발생하는 신호가 일정한 크기로 나오는지의 판단 여부는 영상균일도를 측정, 분석하는 것으로 가능하다. 영상균일성은 정자기장 불균일성, rf field 불균일성, 와류(eddy current), 경사자계 펄스(gradient pulse)의 불균일성 등의 요인들에 의해 영향을 받는다.

영상화되는 체적으로부터 발생하는 신호의 불균일성을 ROI 내의 최대신호값 (S_{max})과 최소신호값 (S_{min})의 차이와 그 평균값의 비로 정의한다면, 균일도는 다음과 같은 식으로 표현된다.

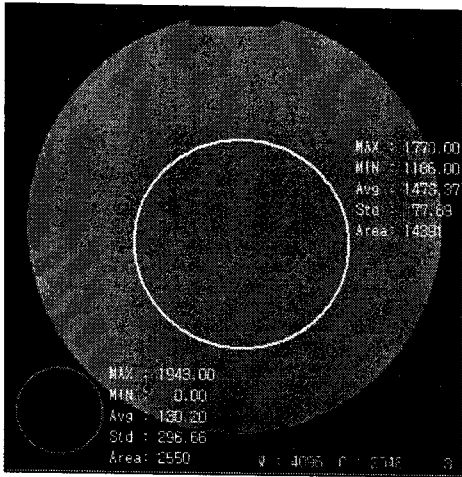
$$U_{\%} = [1 - \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}}] \times 100\%$$

완전히 균일한 경우의 균일도는 100%이며, AAPM에서는 직경 20cm 혹은 그 이하의 원형 ROI에서 80% 이상의 영상균일도를 권장하고 있다. ROI는 영상의 기하적 중앙에서 약 75% 이상 포함하도록 잡으며, 이 때 ROI가 커지면 영상균일도는 감소하는 경향을 보인다. 그림 5는 영상균일도 측정을 위한 ROI와 해당 값들을 보여주고 있으며, 영상의 profile을 구하여 시각적으로 확인할 수도 있다.

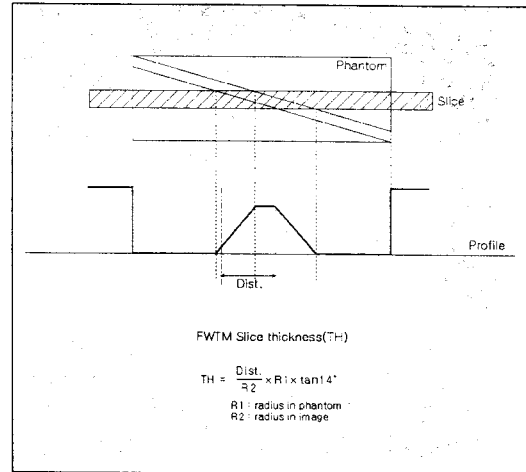
B. 실험방법

S사의 영상장치와 M을 이용하여 Data Spectrum사의 실험모형과 범용실험모형의 영상을 얻었으며, 신호대잡음비와 단면두께 그리고 영상균일도를 측정하여 비교, 분석하였다. 신호대잡음비의 경우는 여러 구조물이 혼재되어 있지 않고 균일한 단면을 보이는 영상을 선택하였으며, 그림 1에 신호대잡음비를 구하기 위한 ROI 영상을 나타내었다. 신호대잡음비의 값은 단일영상을 2번 영상한 후 그 차이영상(Subtracted Image)으로부터 절대값을 취하여 얻었다. 그 결과는 표 1에 표시되었다.

단면두께의 측정은 실험에서 선택한 Data spectrum사 실험모형의 14° 각도로 평행한 ramp 쌍으로된 부분을 이용하였다. 측정방법은 영상을 profile하여 FWTM의 부분을 측정하여 분석하였



[그림1] 신호대잡음비의 측정을 위한 ROI와 단면영상



[그림3] 단면두께 측정을 위한 기하구조

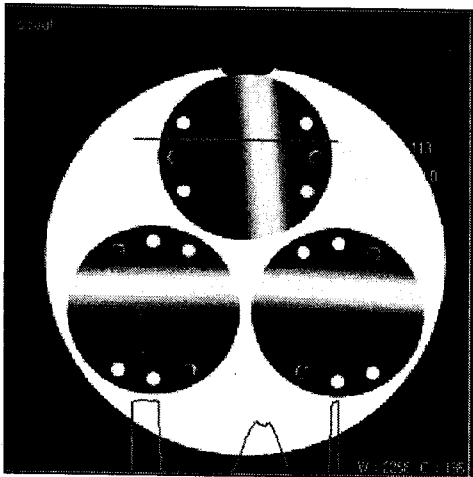
다. 단면두께 균일성을 확인할 수 있는 단면영상을 그림 2에 표시하였으며, 단면두께를 분석할 수 있는 profile을 함께 나타내었다. 단면두께의 측정을 위한 실험모형과 기하구조는 그림 3에 표시하였다.

III. 실험결과

S사와 M의 자기공명영상장치를 이용하여 얻은 영상을 각각 제시된 실험변수를 이용하여 측정·분석한 결과, 다음과 같은 값을 얻었다.

[표1] 신호대잡음비, 단면두께, 영상균일도의 측정결과

	S사	M
신호대잡음비	180+/-3	156+/-4
단면두께(mm)	5.0	5.0+/-0.2
영상균일도(%)	30	96+/-5

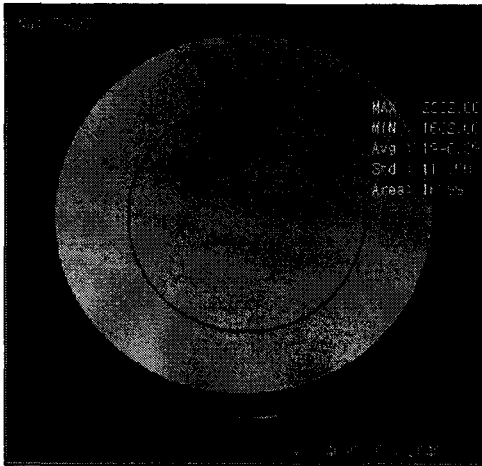


[그림2] 단면두께의 균일성을 확인할 수 있는 단면영상과 측정을 위한 profile

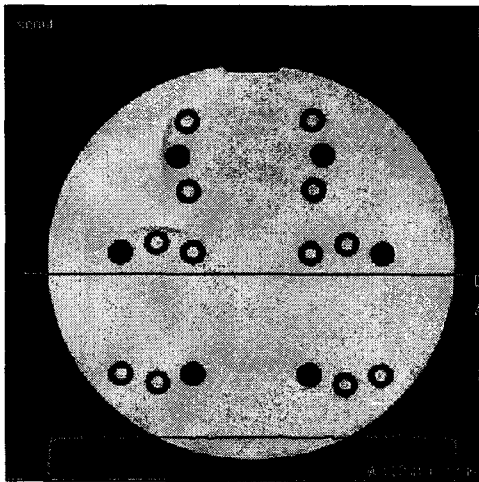
실험을 통하여 비교한 변수들의 측정결과를 분석한 결과, 신호대잡음비는 S사의 자기공명영상장치가 M에 비해 약 20%정도 높은 값을 얻었다. 위에서도 언급했듯이 단순한 신호대잡음비의 측정은 영상불균일성이 잡음에 그대로 반영되므로 이 수치는 차이영상으로 부터 얻은 값이다.

영상균일도를 측정된 결과, M의 영상이 S사의 영상에 비해 훨씬 우수한 값을 얻었다. 이 수치를 비교할 경우, 신호대잡음비의 적정한 수치가 요구됨을 알 수 있었다. 그림 4에서 ROI 해당값들을 통하여 영상균일도를 확인할 수 있었고, 그림 5의 profile을 통하여 위치에 따른 신호의 균일성을 직접 확인하였다.

영상균일도는 균일발생부위를 ROI로 잡고 그 해당 값들을 이용하여 분석하였으며(그림 4), 영상의 균일성을 시각적으로 판단하기 위해 영상을 profile하여 나타내었다.(그림 5)



[그림4] 영상균일도 확인 영상



[그림5] 위치에 따라 신호의 균일성을 보여주는 profile 영상

단면두께의 측정 결과는 그 차이점이 근소하였으며, 단면두께의 경우 그 두께가 두꺼울수록 신호대잡음비는 높은 수치를 기록하고 신호강도는 세어지나 영상균일성은 감소함을 알 수 있었다. 그러므로 적절한 단면두께의 설정으로 적당한 신호대잡음비의 값과 시각적 판단에 기여할 수 있는 공간해상도가 정해지도록 하는 것이 바람직하다.

III. 결 론

신호대잡음비를 정확히 구하기 위해서는 차이영상으로부터 잡음을 구해야 하는 것을 보였다. 특히 RF의 불균일성으로부터 발생하는 구조성

을 가진 Noise는 그 크기가 커서 신호대잡음비에 많은 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

S사의 단면영상 띠의 두께가 가장자리 부분에서 일정하지 않고 좁아지는 현상을 보이는 것은 RF의 불균질성 혹은 gradient field의 선형성, 그리고 혹은 B₀ field의 불균질성에 기인된 것으로 생각된다. S사의 영상균일도가 나쁜 것은 주로 RF coil에 의한 RF field의 불균질성에 기인한 것으로 보인다.

본 연구에서는 주로 영상의 품질을 위주로 하여서 자기공명영상장치의 수행능력정도를 비교하였지만 Hardware의 성능에 대해서도 비교를 하여야 하겠다. Software의 사용자 편리성 뿐 아니라 신호처리에 따르는 시간적 응답, 그리고 이용할 수 있는 software utility의 종류 등에 대해서도 비교되어야 한다.

참고문헌

1. W. A. Edelstein, P. A. Bottomley, L. M. Pfeifer, "A Signal-to-Noise Calibration Procedure for NMR system", Med. Phys. 11(2), 1984
2. E. R. McVeigh, R. M. Henkelman, M. J. Bronskill, "Noise and Filtration in Magnetic Resonance Imaging", Med. Phys. 12(5), 1985
3. Ronald R. Price, Leon Axel, Tommie Morgan, Robert Newman, William Perman, Nicholas Schneiders, Mark Selikson, Michael Wood, and Stephen R. Thomas: Quality assurance method and phantom for magnetic resonance imaging : Report of AAPM nuclear magnetic resonance Task Group No.1, Med. Phys. 17(2), 1990
4. W. A. Edelstein, G. H. Glover, C. J. Hardy, and R. W. Redington : The Intrinsic Signal-to-Noise Ratio in NMR Imaging. Magnetic Resonance in Medison 3, 604-618, 1986
5. A. H. Anderson, " On the Rician Distribution of Noisy MRI Data", Mag. Reson. Med. 36:331-333, 1996
6. 이 윤, 오창현, 안창범, 이홍규 : 자기공명영상 장치의 신호대잡음비와 영상평가 : 대한의용생체 공학회 추계논문집, 18(2), 1996
7. 이 윤, 영상품질을 이용한 자기공명영상장치 성능평가, 자연과학논집, 1996