

미세내시경용 광섬유 영상가이드의 영상광도 측정 및 분석

이 봉 수

건국대학교 의과대학 의학공학부
(2002년 1월 24일 접수, 2002년 8월 9일 채택)

Measurement and Analysis of Image Brightness in Fiber-optic Imageguide for Ultrathin Endoscope

Bongsoo Lee

School of Biomedical Engineering, College of Medicine, Konkuk University

(Received January 24, 2002. Accepted August 9, 2002)

요약 : 내시경 영상의 질을 결정하는데는 많은 요소들 즉 내시경 영상가이드가 포함하고 있는 광섬유들의 숫자 및 광섬유 각각의 형태, 재료, 길이 등의 측정, 분석이 필요하지만 그 각각의 요소들은 서로 상관관계를 가지고 있기 때문에 각 요소들에 대한 독립적 분석은 불가능한 것으로 평가되어 지고 있다. 그래서 크게 2가지 특성 즉 영상가이드의 영상분해능(image resolution)과 영상광도(image brightness)를 측정, 분석함으로써 내시경 영상의 질을 판단하려는 연구가 진행되고 있으나 아직 그 정확한 분석 방법이 확립되어 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 의료용 내시경에 사용되는 미세 영상가이드의 영상광도를 정량화하기 위해서 영상가이드 자체의 PF(packing fraction), 개구수(numerical aperture) 및 광감쇠율의 측정방법을 개발하였고, 실제 미세내시경에 사용되고 있는 영상가이드의 광도를 측정하고 정량화하였다. 특히 영상가이드 전체의 개구수를 측정함으로써 기존의 개구수 계산값에 의한 방법보다 정확한 영상광도의 정량화가 가능하였고 그 결과 직경이 3.1 μm 인 광섬유를 포함하는 영상가이드의 광도는 직경이 4.1 μm 인 광섬유를 포함하는 영상가이드 보다 약 37% 만큼 낮다는 결론을 얻었다.

Abstract : The image quality of imageguide depends on the structure, material, length of microfibers and the phenomena such as cross-talk and leaky ray between adjacent fibers. These parameters should be considered as important factors in the image transmission quality of fibers. However it is considered to be very difficult to assess all the parameters in a consistent way. Therefore, two image characteristics, image resolution and image brightness are measured and analyzed to determine the image quality of imageguide. But the exact methods to measure two image characteristics of imageguide are not reported. In this study, the image brightness of imageguide for ultrathin endoscope is determined by measuring of the numerical aperture, the packing fraction and the attenuated power ratio of imageguide. Especially, it is possible to obtain more exact results from measuring the numerical aperture of whole image guide than those from theoretical calculation of the single microfiber in an image guide. The image brightness of the image guide which has 3.1 μm microfibers is about 37% less than that with 4.1 μm microfibers.

Key words : Ultrathin endoscope, Fiber-optic imageguide, Image brightness, Image quality

서 론

광섬유를 이용한 의료용 내시경(endoscope) 및 산업용 내시경(boroscope)을 제작하는데 있어서 일반적으로 2가지 종류의 광섬유다발이 사용되고 있다. 그중 하나는 내시경의 경우, 외부

의 광원으로부터 신체 내부의 관찰하고자 하는 부분에 빛을 공급하는데 사용되고, 다른 하나는 공급된 빛에 의해 포착된 신체내부의 영상을 외부로 전달하는데 사용된다. 전자를 광가이드(light guide)라고 하고 순서에 상관없이 묶은 광섬유다발(incoherent fiber bundle)을 사용한다. 후자는 영상가이드(image guide)라고 하며 순서에 맞게 차례대로 묶은 광섬유다발(coherent fiber bundle)을 사용한다.

보통 의료용 내시경의 경우 사용하는 용도 및 크기에 따라 크게 2가지로 분류하는데 위, 장 및 기관지 등의 관찰을 위한 내시경과 혈관, 안구 및 관절부위를 관찰하는 내시경으로 나눌

본 연구는 2001년도 건국대학교 학술연구비지원에 의해 수행되었음

통신저자 : 이봉수, (380-701) 충북 충주시 단월동 322

건국대학교 의과대학 의학공학부 507호

Tel. (043)840-3755, Fax. (043)851-0620

E-mail. bslee@kku.ac.kr

식 (5)에서 L_1 과 L_2 는 각각 cut-back 방법에 사용되는 광섬유 또는 영상가이드의 길이이고 P_1 과 P_2 는 각 광섬유 길이에 대응하는 광출력이다. 식 (5)로부터 Attenuated Power Ratio(APR), $\frac{P_2}{P_1}$ 는 식 (6)과 같이 표현되어지는데, APR은 영상광도 측정에 필요한 인자가 된다.

$$APR = \frac{P_2}{P_1} = 10^{-\left(\frac{aL}{10}\right)} \quad (6)$$

실험 결과

이상에서 설명한 3가지 인자들, 즉 개구수(Numerical Aperture), PF(Packing Fraction) 및 APR(Attenuated Power Ratio)는 광섬유 영상가이드의 광도에 크게 영향을 미치는 무단위 인자들로서 식 (7)과 같이 영상가이드의 광도를 정의 할 수 있다[4].

$$B = PF (NA)^2 10^{-\frac{aL}{10}} \quad (7)$$

식 (7)은 영상광도를 정량화하기 위한 식으로 광원이 등방성을 갖는다는 가정하에 영상가이드의 광도에 크게 영향을 미치는 3가지 무단위 인자들의 곱으로 표현되어 진다. 즉 PF와 APR은 광도에 비례하는 인자들이고 개구수는 식 (3)과 같이 광섬유 구성요소인 core/cladding 굴절률의 제곱근으로 표현되기 때문에 영상광도는 그 제곱에 비례한다고 할 수 있다.

1. 영상가이드

본 연구에서 사용된 영상가이드는 실제 미세내시경 제작에 사용되는 것으로서 포함하고 있는 각각의 광섬유는 유리를 근간으로 하는 GOF(Glass Optical Fiber)이고 일본의 Sumitomo Inc.에서 생산한 것이다. 두 가지의 유리 영상가이드가 실험에 사용되었는데 포함하고 있는 광섬유들은 각각의 지름 크기가 500배 현미경/CCD 장비를 이용한 측정 결과 평균 3.1, 4.1 μ m인 계단형 광섬유들이다. 영상가이드 외경의 크기는 각각

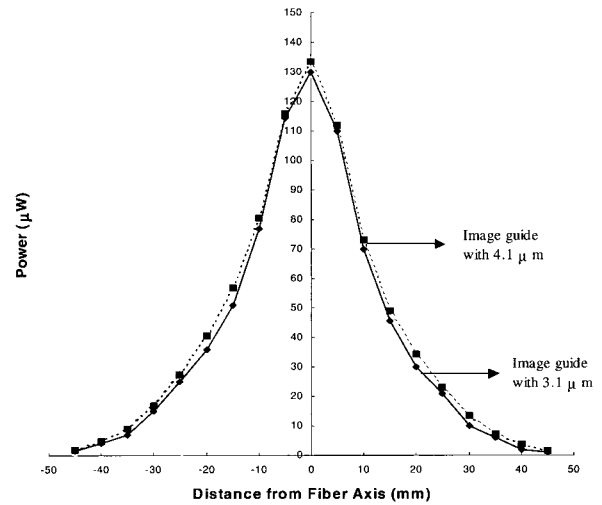


그림 4. 영상가이드를 통과한 laser 빛의 출력분포
Fig. 4. The transmitted power distributions of imageguides

0.37, 0.35 mm 이고 개구수 및 PF 측정 실험에 사용된 영상가이드의 길이는 0.5 m 이다. 광섬유의 core 및 cladding 물질은 각각 GeO_2 와 F를 함유하고 있는 유리성분이고 그 함유량은 밝혀져 있지 않다.

2. 개구수 측정

그림 4는 이 두 가지 영상가이드의 개구수를 측정하기 위해서 필요한 식 (4)에서의 D 값 측정 결과를 보여주고 있다. 정확한 개구수 측정을 위해서 D 값은 영상가이드를 통과한 laser 빛의 분포를 측정하여 최대치의 5%가 되는 지점에서 결정하였고 S 값은 정확한 측정을 위해 광학 테이블 위에서 측정된 값들의 평균치를 사용하였다. 측정된 영상가이드의 개구수 값은 표 2와 같고, 측정된 두 개구수 값이 큰 차이를 보이지 않은 이유는 영상가이드에 포함된 광섬유의 core 및 cladding이 같은 물질이고 그 지름 크기 또한 비슷하기 때문인 것으로 판단된다.

3. PF 측정

표 2. 3.1, 4.1 μ m 광섬유를 포함하는 영상가이드의 개구수 측정 결과

Table 2. Numerical aperture measurements of image guides with 3.1 and 4.1 μ m

Microfiber Diameter (μ m)	S (cm)	D (cm)	NA
3.1	10.16	6.79	0.317
4.1	10.16	6.90	0.322

표 3. 3.1, 4.1 μ m 광섬유를 포함하는 영상가이드의 PF 측정 결과

Table 3. PF measurements of imageguides with 3.1, 4.1 μ m microfibers

Microfiber Diameter (μ m)	Core Diameter (μ m)	Cladding Thickness(μ m)	PF
3.1	2.06	0.52	0.44
4.1	2.72	0.69	0.44

실험 방법에서 언급한 것과 같이 영상가이드의 PF 이라 함은 영상가이드 총 단면적에 대한 core 부분만의 면적비로서 표현되는데 일반적으로 광섬유를 구성하고 있는 cladding 부분의 두께와 core 부분만의 지름 크기를 측정함으로써 쉽게 구할 수 있다. 본 연구에서는 500배 현미경과 CCD 카메라를 사용하여 영상가이드를 구성하고 있는 광섬유의 cladding 두께와 core 지름을 측정하여 두 영상가이드의 PF를 결정하였다. 표 3은 그 결과를 나타내고 있는데 측정된 PF의 값이 같은 이유는 두 영상가이드가 같은 광섬유 다발 모재(preform)에서 생산되었기 때문이다. 즉 영상가이드 자체의 지름 및 포함하고 있는 광섬유 각각의 지름 크기가 다르더라도 같은 광섬유 다발에서 생산된 영상가이드는 같은 비율의 core/cladding 두께를 가지게 된다.

4. APR 측정

그림 5는 영상가이드의 APR측정에 대해서 보여주고 있는데 본 연구에서 사용된 광원은 665 nm의 파장을 가진 LED(Light Emitting Diode)이고 검출기로는 Photodiode가 사용되었다(LED : S760, 검출기: M702A, FOTEC Ltd.). 파장이 665 nm 인 LED 빛은 기준 광섬유(launching fiber)와 영상가이드를 통과한 후 검출기에서 그 출력이 측정되는데 이때 기준 광섬유의 직경과 개구수는 측정하고자하는 영상가이드의 그것들 보다 작아야한다. 그 이유는 LED 광원으로부터 발생한 빛이 기준 광섬유와 영상가이드를 거치면서 그 연결부분에서 어느 정도 손실이 발생하더라도 직경이 다른 영상가이드의 광감쇠 출력 측정에 같은 조건을 제공하기 위함이다. 표 4는 측정된 영상가이드의 광감쇠계수 및 APR을 보여주고 있다.

5. 영상광도의 정량화

영상광도에 대한 기존의 연구는 영상광도에 영향을 미치는 각각의 인자들에 관한 평가에 국한되었고 최초의 정량화에 대한 연구는 식 (7)을 사용하여 시도되었지만 개구수의 측정에 있어서 영상가이드를 구성하고 있는 광섬유 한 개의 core/cladding 물질의 굴절률로써 단순하게 계산되어졌다. 이는 영상가이드를 구성하고 있는 각 광섬유 외경의 크기가 약 50 μm 이상인 경우 실제 개구수 값과 큰 차이가 없으나 미세내시

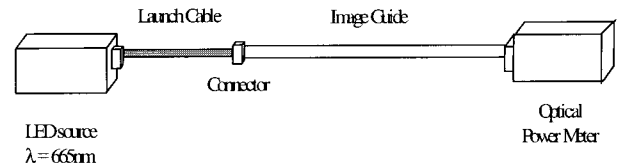


그림 5. 영상가이드의 APR 측정

Fig. 5. APR measurements setup

경용 영상가이드의 경우 그 외경의 크기가 5 μm 이하이기 때문에 굴절률을 사용한 계산결과와 실제 측정값과는 큰 차이를 보일 것으로 판단된다. 그 이유는 영상가이드를 구성하고 있는 각 광섬유의 크기가 작아질수록 광섬유들 사이에서 발생하는 물리적 현상들 즉 cross-talk 및 leaky ray 현상에 대한 영향력이 커지기 때문이다[7]. 또한 광섬유의 개구수 값을 구성물질의 굴절률로써 표현하기 위해서는 광섬유 제작에 있어 core의 외경 크기, cladding의 두께 및 core/cladding 접축면이 일정하게 유지되어야 한다는 가정이 필요한데 실제 광섬유 제작에 있어 이는 해결하기 어려운 문제 중의 하나이다.

본 연구에서는 영상가이드의 광도를 결정하는 중요 인자인 개구수, PF 그리고 APR을 측정하고 영상광도를 정량화하였다. 특히 영상가이드 전체의 개구수를 측정함으로써 기존의 개구수 계산값에 의한 방법보다 정확한 영상광도의 정량화가 가능하였다. 표 5는 3.1, 4.1 μm의 광섬유를 포함하는 영상가이드에 대한 각각의 측정치와 정량화된 영상광도를 보여주고 있다. 그 결과 직경이 3.1 μm인 광섬유를 포함하는 영상가이드의 광도는 직경이 4.1 μm인 광섬유를 포함하는 영상가이드 보다 낮다는 사실을 알 수 있었고, 영상광도 자체를 정량화함으로써 약 37% 만큼 낮다는 결론을 얻었다.

결 론

본 연구에서는 실제 광섬유내시경에 사용되고 있는 미세 영상가이드의 3가지 인자들을 측정하여 영상광도를 정량적으로 평가하였다.

특히 미세내시경용 영상가이드의 경우, 최근 연구는 영상분해능 향상을 위해 영상가이드의 크기를 제한하고 보다 많은

표 4. 3.1, 4.1 μm 광섬유를 포함하는 영상가이드의 APR 및 광감쇠계수 측정 결과

Table 4. APR and attenuation coefficient measurements of imageguides with 3.1, 4.1 μm microfibers

	Imageguide with 3.1 μm microfibers	Imageguide with 4.1 μm microfibers
APR	0.091	0.138
α (dB/m)	7.7	5.0

표 5. 3.1, 4.1 μm 광섬유를 포함하는 영상가이드의 영상광도

Table 5. Image brightness of image guides with 3.1, 4.1 μm microfibers

Microfiber Diameter (μm)	NA	PF	APR	Image Brightness
3.1	0.317	0.44	0.091	0.0040
4.1	0.322	0.44	0.138	0.0063

수의 광섬유를 포함한 영상가이드를 제작하려는 추세에 있는데, 이때 각 광섬유의 크기가 작아 지면서 영상광도는 급격히 감소할 것으로 예상된다. 영상광도가 감소하게 된다면 전체적인 내시경 영상의 질은 저하되는 것이고 영상분해능의 향상은 무의미하게 된다. 그러나 현재 영상가이드의 광도에 대한 측정 및 평가방법이 정확히 마련되어 있지 않고, 영상광도와 영상분해능과의 상관관계에 대한 연구도 미흡한 상태이다. 이 때문에 본 연구결과는 미세내시경용 영상가이드 제작시, 영상광도를 측정, 평가하고 영상분해능과의 관계에 대한 분석에 큰 도움을 줌으로써 전체적인 내시경 영상의 질을 향상시키는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. A. Katzir, "Optical fiber in medicine", Sci. Am. Vol. 260, No. 5, pp. 120-125, 1989
2. N.S. Kapany, Fiber optics: Principles and applications, New York, Academic Press, pp. 40-65, 1967
3. B. Lee, "Measurement of spatial resolution in fiber-optic image guides", J. of the Opt. Soc. of Korea, Vol. 5, No. 2, pp. 33-36, 2001
4. Y. Wang, A. B. Brennan, J. R. Tymianski, and J. K. Walker, "Plastic fiberoptic image guides for endos-cope", ANTEC 3367, 1995
5. T. Tsumanuma, T. Toriya, T. Tanaka, N. Samoto, K. Seto, and K. Sanada, "New image diagnosis system with ultrathin endoscope and clinical results", Opt. Fib. Medicine VI, SPIE Vol. 1420, pp. 193-198, 1991
6. S. Yamaguchi, A. Shimogima, and T. Hosono, "Analysis of transmission characteristics of image fiber-Dependence on higher modes and wavelength", Electro. Comm. Japan, Part 2, Vol. 72, No. 7, pp. 51-55 (1989).
7. A.W. Snyder, and J.D. Love, Optical waveguide theory, New York, Chapman and Hall, pp. 567-588, 1983
8. I. Kawahara, and H. Ichikawa, Fiberoptic instrument technology, Gastrointestinal Endoscopy, W.B. Saunders Co. pp. 20-41, 1987
9. T. Tsumanuma, K. Tanaka, S. Chigira, K. Sanada, and K. Inada, "The ultrathin silica based imagefiber for the medical usage", Opt. Fib. Medicine III, SPIE Vol. 906, pp. 92-96, 1988.
10. G. Thyagarajan, Intro. to fiber optics, New York, Cambridge Universty Press, pp. 411-423, 1998