

카본 섬유를 이용한 엑스선 CT 스캐너용 Tabletop의 설계 및 평가 Design and Evaluation of the Tabletop Made of Carbon Fiber for X-ray CT Scanner

성금길*, 박명규**
Kum-Gil Sung*, Myung-Kyu Park**

<Abstract>

The carbon fiber has low x-ray absorption property and high stiffness. This is the reason why many CT(Computed Tomography) manufacturer use carbon fiber in couch tabletop for CT scanner. In this paper, we design and make the couch tabletop made of carbon fiber composite, and verify the validity in CT scanner. In designing the couch tabletop, to determine the aluminum equivalent thickness of couch tabletop, we evaluate X-ray the transmissivity of aluminum and carbon plate in 80-120kVp X-ray energy range. And we perform structural analysis and mechanical design using determined thickness of carbon sheet. In conclusion, it was evaluated that manufactured couch tabletop satisfies X-ray transmissivity and mechanical requirements in CT scanner.

Keywords : *CT(Computerized Tomography) Scanner, X-ray, Tabletop, Carbon Fiber, Structural Analysis, Couch*

1. 서론

X-ray CT(Computed Tomography, 전산화단층촬영장치)는 인체내부의 단면을 비침습적으로 촬영할 수 있는 의료용 영상진단장치로서 임상적으로 매우 중요한 도구이며, 최근 고속 scan 방법이 등장함으로써 환자의 motion artifact를 감소할 수 있게 되어 보다 우수한 진단영상을 얻게 되었다.

X-ray CT 진단영상의 화질은 인체의 미소 병변의 진단과 직접적으로 관련되어 매우 중요한 의미를 지니며, X-ray tube, 검출기(Detector), HVPS(High Voltage Power Supply) 및 DAS(Data Acquisition System) 및 gantry

등의 안정적인 동작과 함께 피사체인 환자를 이송하는 couch부의 역할은 매우 중요하다.

CT 영상을 촬영하는 과정에서 couch는 촬영하고자 하는 환자의 부위를 CT의 FOV(Field Of View)내에 위치할 수 있도록 tabletop의 상하 운동 및 이송운동을 발생시키며, 여기서 이송운동은 촬영 목적에 따라 속도가 결정되고, 이송속도의 불균일성은 CT 화질에 영향을 미친다.

Couch의 tabletop에서 요구되는 가장 중요한 조건은 X-ray 투과율 및 강도조건이다. CT촬영 시 tabletop의 투과율은 화질에 영향을 미치게 되어, X-ray 투과율이 높은 다양한 재질의 tabletop이 연구되어 왔다. 기존의 X-ray table에 적용된 재질은 X-ray 투과율 및 기계적 강

* 정회원, 영남이공대학 기계과 교수, 工博

** 정회원, 교신저자, 영남이공대학 기계과 교수, 工博,
E-mail : mkp@ync.ac.kr

* Professor, Dept. of Mechanical Engineering,
Yeungnam College of Science & Technology, Ph. D.
** Corresponding Author, Prof., Dept. of Mechanical
Engineering, Yeungnam College of Science &
Technology, Ph. D.

도에 취약하기 때문에, 외팔보 형태로 구성되는 CT couch의 적용에는 문제가 있다. 최근 이러한 문제의 대안으로 X-ray 투과율이 높고 기계적 강도가 뛰어난 복합재료의 하나인 carbon fiber가 각종 X-ray기기의 table에 적용되고 있다.

본 연구에서는 알루미늄 및 carbon plate의 X-ray 투과율을 측정 및 비교한 후 tabletop에 사용될 carbon sheet의 두께를 결정하고, 이러한 설계값을 이용하여 tabletop의 구조해석 및 설계를 수행하였다. 최종적으로 설계 변수를 통하여 tabletop을 제작한 후 X-ray 투과 및 강도조건에 대하여 평가를 수행하였다.

2. 투과율 시험

Tabletop의 설계에 사용될 carbon sheet의 두께를 결정하기 위하여 알루미늄 및 carbon plate의 X-ray 투과율을 실험하였다. Fig. 1은 X-ray 투과율 실험을 위하여 구성된 CT 실험 장치의 사진이다. 그림에서와 같이 CT 촬영 시 사용하는 것과 동일한 X-ray 선질을 구현하기 위하여 CT용 X-ray tube를 사용하였으며, inherent filtration은 최대 1.5mm 알루미늄 당량이며, 최소 1.1mm 알루미늄 당량이다. 또한 X-ray tube의 선질을 객관화하기 위하여 IEC 60601-1-3에서 규정하고 있는 반가층에 대한 측정을 실시하였으며, 100kVp에서 규격값 3.7mm 알루미늄 당량을 만족하였다. 검출기는 상용화된 제품인 Gammex RMI 사의 NERO

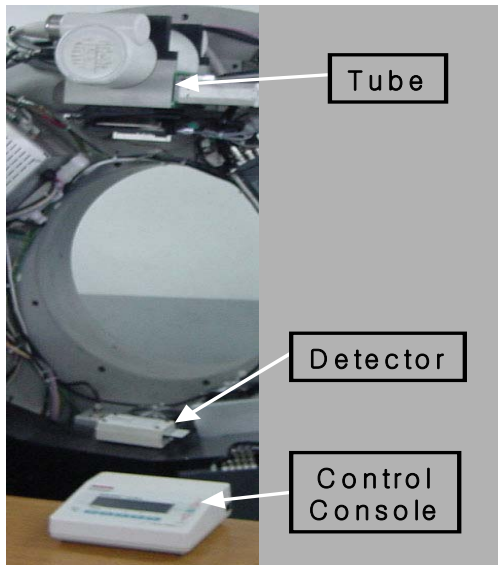


Fig. 1. Experimental setup of X-ray transmissivity.

Table 1. Transmissivity of Aluminum and Carbon Plate

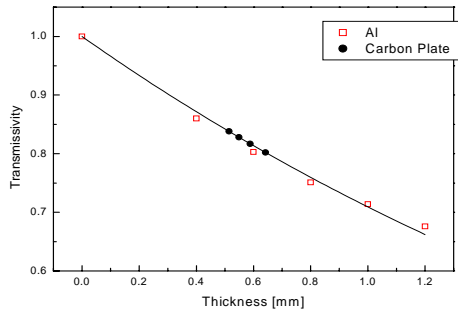
| | Thickness [mm] | Transmissivity [%] | | |
|----|----------------|--------------------|--------|--------|
| | | 80kVp | 100kVp | 120kVp |
| CP | 2.00 | 83.9 | 86.3 | 87.5 |
| | 2.25 | 82.8 | 85.5 | 86.6 |
| | 2.50 | 81.7 | 84.3 | 85.4 |
| | 2.75 | 80.2 | 83.1 | 84.5 |
| Al | 0.4 | 86.0 | 88.5 | 89.9 |
| | 0.6 | 80.3 | 83.9 | 85.6 |
| | 0.8 | 75.1 | 79.7 | 82.1 |
| | 1.0 | 71.4 | 76.5 | 79.3 |
| | 1.2 | 67.6 | 73.1 | 76.4 |

8000을 사용하여 실험 데이터를 객관화 할 수 있도록 하였다. 실험 시 사용된 carbon plate는 형태를 유지할 수 있는 재료를 plate로 가공하고, 위와 아래에 일정한 두께의 carbon sheet를 다층으로 적층한 sandwich 형태이다.

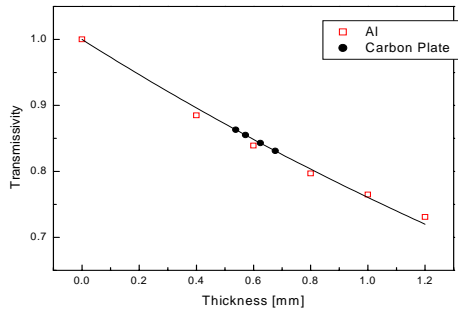
Table 1은 알루미늄 및 carbon plate 투과율을 측정한 결과이다. 모든 실험은 100mAs하에서 수행되었으며, 80, 100, 120kVp의 3가지 전압을 부하 하였다. 알려진 바와 같이 두께가 증가함에 따라 투과량이 감소함을 알 수 있으며, 4가지 두께의 carbon plate의 투과량은 알루미늄 0.6mm 두께의 투과량과 비슷한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Table 1의 결과를 Fig. 2에 부하전압에 따라 나타내었다. 그림에서 carbon plate의 값은 왼쪽에서부터 각각 2.00, 2.25, 2.50, 2.75mm의 두께의 값이며, 각각 80kVp인 경우 0.514, 0.549, 0.588, 0.642mmAl, 100kVp인 경우 0.538, 0.572, 0.624, 0.676mmAl, 120kVp인 경우 0.563, 0.607, 0.665, 0.710mmAl 이다.

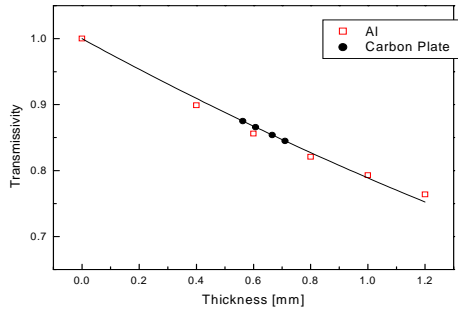
이러한 실험결과에 따라 설계될 tabletop의 carbon sheet의 두께는 2.50mm로 결정되었다. 이는 일반적으로 CT용 tabletop에서 안전 및 영상 측면에서 요구되고 있는 1.2mm 알루미늄 당량의 값에 안전계수 2를 적용하여, 각각의 부하전압 하에서 0.6mm 알루미늄 당량 이하의 값이 유지 될 수 있는 tabletop의 설계가 요구되기 때문이다. 이러한 설계 값은 IEC-60601-3의 규격에서 규정하고 있는 1.7mm 알루미늄 당량에도 부합되는 값이다.



(a) 80kVp



(b) 100kVp



(c) 120kVp

Fig. 2. Transmissivity of aluminum and carbon plate.

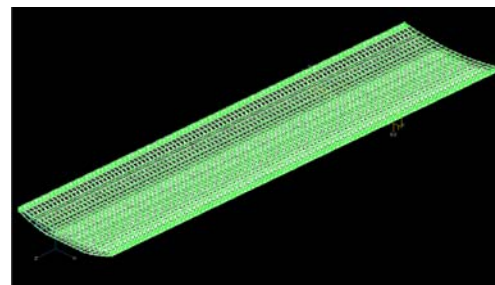
3. 구조해석 및 설계

X-ray 투과량 실험에 의하여 결정된 carbon sheet의 두께를 이용하여, CT 및 couch에 적용될 수 있는 임의의 tabletop을 설계하였다. 설계된 tabletop에 2m 외팔보 및 200kg 분포하중의 조건을 부여하는 것을 조건으로 하여, 다양한 구조해석을 수행하였다. 구조해석은 하중이 부하된 tabletop의 변위 및 응력조건이 자체적으로 규정한 값을 초과하지 않을 때까지, 단면형상 및 길이를 변화시키면서 반복적으로 수행되

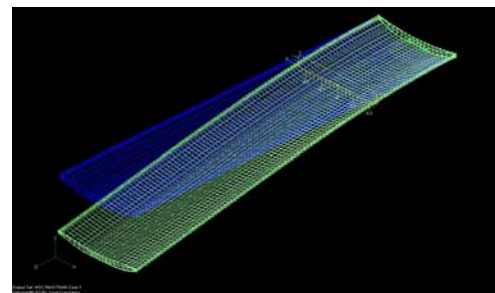
었다.

반복적인 구조해석을 통하여 최종적으로 결정된 tabletop의 형상 및 길이에 대한 해석결과를 Fig. 3 및 4에 나타내었다. Fig. 3(a) 및 Fig. 4(a)는 하중이 적용되기 전의 tabletop의 형상이고, Fig. 3(b) 및 Fig. 4(b)는 하중이 적용되어 변위가 발생한 형상이다. 그림에서와 같이 구속되어 있는 부분을 기준으로 하여 끝부분에 최대변위가 발생함을 확인 할 수 있다. 또한 Fig. 4의 (a)는 tabletop의 윗면에 위치한 carbon sheet의 응력분포이며, (b)는 아랫면에 위치한 carbon sheet의 응력분포이다. 그림에서와 같이 carbon sheet의 윗면은 구속된 부분의 좌우부분, carbon sheet의 아랫면은 구속된 부분의 중심부분에 높은 응력이 발생함을 해석결과를 통하여 확인할 수 있다.

설계된 tabletop은 부하된 조건 하에서 최대 변위 및 최대응력의 값이 각각 12.6mm 및 104.1MPa이 발생하며, 이는 임의로 제한된 규격 및 강도조건을 초과하지 않는 값이다. 또한 부가적으로 1.5 및 1.8m의 외팔보 조건을 부여하여 해석을 수행한 결과 최대변위가 각각 5.43 및 9.23mm 발생되었다. 해석에서 수행된 tabletop의 최대변위는 가장 끝부분에서 발생된 것이며, CT 촬영범위인 gantry의 중심부에서는 보다 작은 변위가 발생된다.

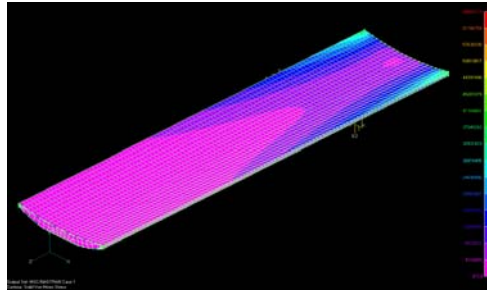


(a) Without distributed weight

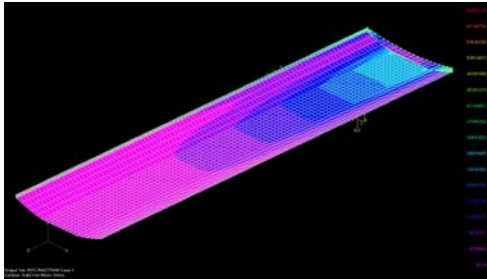


(b) With distributed weight

Fig. 3. Structural analysis of tabletop.



(a) top sheet



(b) bottom sheet

Fig. 4. Stress distribution of tabletop.

4. Tabletop의 투과율 및 강도실험

X-ray 투과율 및 구조해석의 결과를 통하여 도출된 다양한 변수 값을 설계에 이용하여 tabletop을 설계 및 제작하였으며, 제작된 tabletop의 사진을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서와 같이 tabletop을 couch의 상부에 부착하여 실제 제품에 대한 X-ray 투과율 및 강도해석을 수행하였으며, 실험조건은 설계 전에 사용한 방법 및 구조해석과 동일하게 적용하였다.

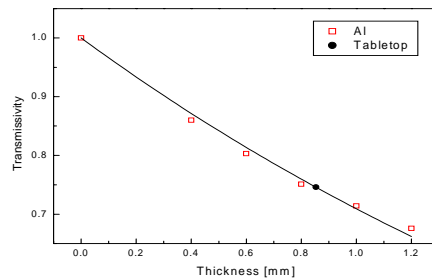
먼저 제작한 tabletop의 X-ray 투과율 실험에 대한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서와 같이 100mAs 하에서 및 80, 100, 120kVp의 다양한 전압 조건을 부여한 결과, 각각 0.853, 0.973, 1.023mm의 알루미늄과 동일한 투과량을 나타내었다. 이는 설계 전에 수행된 carbon plate의 실험값 약 0.6mm와 비교하여 각각 42.2%, 62.2%, 70.5%의 비교적 큰 오차가 발생하는 결과이다. 이러한 오차는 샘플 가공에 따른 가공오차 및 carbon sheet 사이에 적용된 수지의 불균일에 의한 제작오차에 의하여 발생된 것으로 예상되며, 추후 최종제품의 가공 시에는 제품가공용 금형을 제작하여 가공오차 및 제작오차를 최소화할 수 있다.

Fig. 5에 나타낸 tabletop의 상부에 200kg 분

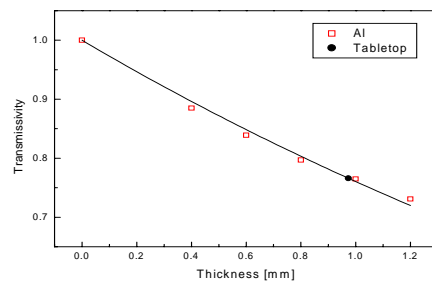
포하중을 부하한 결과 tabletop의 끝부분에서 14.5mm의 변위가 발생함을 실험적으로 확인하였다. 이는 구조해석의 결과값인 최대변위 12.6mm에 비하여 13.1% 증가한 값이며, 이는 마찬가지로 제품의 제작 시 발생한 가공오차에 의하여 발생한 것으로 예상된다.



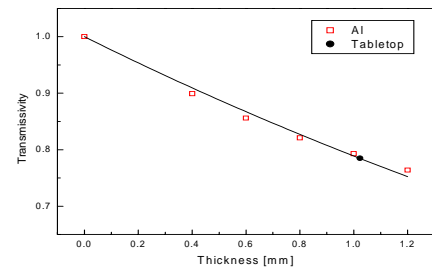
Fig. 5. Photograph of manufactured tabletop.



(a) 80kVp



(b) 100kVp



(c) 120kVp

Fig. 6. Transmissivity of aluminum and tabletop.

5. 결 론

본 연구에서는 X-ray CT scanner에 적용하기 위한 tabletop을 설계하기 위하여, couch용 tabletop에 대한 X-ray 투과율 실험 및 구조해석을 수행하였다. X-ray 투과율 실험에 의하여 tabletop에 사용될 carbon sheet의 두께를 결정하고, 구조해석을 통하여 tabletop의 단면형상 및 길이를 결정하였다. 이러한 설계값을 이용하여 tabletop의 설계 및 제작을 진행하였으며, 제작된 tabletop에 대하여 X-ray 투과율 실험 및 강도실험을 수행하였다. 실험결과에서 나타낸 바와 같이 X-ray 투과율 및 강도실험에서 모두 규정범위 내의 오차가 발생하였으며, 이를 실제 X-ray CT scanner에 적용할 수 있다.

향후 최종실험 시 발생한 오차를 보다 개선하기 위하여 실제 제작된 tabletop의 가공 시 발생할 수 있으나, 실험 및 해석에 반영하지 못한 요소에 대한 다양한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) Robort, C., Nondestructive Testing Handbook, The Ronald Press Company, New York, (1959)
- 2) Thomas S., James, D., Robort, C., Physics of Diagnostic Radiology, Lea & Febiger, (1990)
- 3) Euclid, S., Computed Tomography, W. B. Saunders Company, (1994)

(2008년 8월 18일 접수, 2008년 11월 21일 채택)