한국정밀공학회 2006년도 춘계학술대회논문집 pp. 189~190 KSPE 06S163

X-선 투과특성을 고려한 외주형 수술용 테이블 개발

원병희*(한국생산기술연구원), 전경진(한국생산기술연구원)

Development of a Cantilevered Patient Table Considering X-ray Transparency

B. H. Won(KITECH), K. J. Chun(KITECH)

ABSTRACT

A patient table considering x-ray transparency, mechanical safety and compact multi-axis moving mechanism has been developed. The goal of medical imaging technology is to keep radiation exposure of patients during x-raying to a minimum. In order to obtain clear pictures at low dose, however, the x-ray table which supports the patient must be sufficiently permeable to radiation to allow good image resolution. The table top is made of low density foam for x-ray transparent effective area and structural aluminum plate to connect moving mechanism under the table, covered with thin carbon fiber. This sandwich construction is very rigid and lightweight, so the table top can handle relatively heavy load comparing to its cantilevered structure which is unavoidable as long as cooperate with C-arm radiography. To verify the design results finite element static analysis and experimental tests have been done. According to the verification the results well satisfy certification guide lines as a medical device.

Key Words : Patient table (수술용 테이블), X-ray transparency (X-선 투과특성), Sandwich structure (샌드위치 구조물), FEA(유한요소해석)

1. 서론

X-선 영상진단기기는 임상적으로 가장 광범위한 응용분야에서 환자의 진단을 위해 사용되고 있으며, C-arm을 비롯한 의료용 영상진단기기의 디지털화를 계기로 병원 내 일반적인 진단 뿐 아니라 실시간 영상을 제공하여 일반 심장 및 혈관수술, 카테터 삽입, 동맥류 스텐트 시술을 위한 응용사례가 급속히 발전하고 있다. 이러한 응용을 위해 가장 중요한 기술적 관건은 환자의 피폭을 최소화한 상태에서 고화질의 영상을 획득하는 것이다.

일반적으로 X-선속이 물질을 통과할 때 흡수, 굴절 등에 의하여 강도(intensity)가 감소하게 된다. X-선속의 감소는 인체를 투과 시 원래 선속의 약 18%, 최종적으로 약 60%까지 감쇠되는 것으로 알려져 있으며 후처리 과정에서 영상의 질 저하를 일으킨다.[1] 감쇠에 의한 영향을 보상하기 위해 현장에서 노출조건(mAs)을 강하게 하여 조사강도를 높이게 되어 환자에게 불필요한 피폭을 증가시키게 된다.

따라서 X-선속의 최종 사용정도를 나타내는 검출양자효율(DQE, Detective Quantum Efficiency) 향상을 위해 중간 매질에서의 감쇠를 최소화하는 노력이 필요하다. 각 국가별 의료기기 관리기관에서는 X-선 수술용 테이블에 대해 허용되는 X-선 투과정도를 나타내기 위해 알루미늄 소재의 상당 두께 값(aluminum equivalent, mmAl)으로 기준을 정하여 수술용 테이블의 정도관리를 하고 있다.[2-4]

실시간으로 X-선 영상을 취득하기 위한 수술용 테이블의 개발 주안점은 첫째, X-선 흡수 정도가 최소화되는 소재의 선정 둘째, C-arm과 연계운영을 위해 필요한 외주형 구조로 환자의 하중에 대한 구조 안전성 셋째, 환자의 다양한 자세의 영상정보를 획득하기 위해 테이블 상판의 수평자세와 경사자세를 용이하게 구현하는 것이다.

본 논문에서는 X-선 테이블의 개발 주안점을 고려하여 외주형 수술용 테이블의 개발과정에서 필요로 하는 소재의 선정, 상판 구조설계, 시제품제작 및 주요 성능항목의 시험평가에 대해 다루었다.

2. 테이블 설계와 해석

테이블 상판(table top)은 외곽을 둘러 싼 표면재

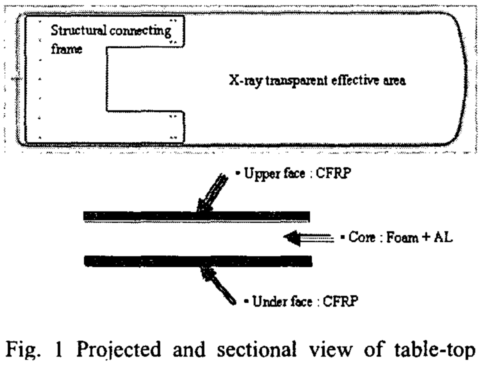

Fig. 1 Projected and sectional view of table-top

(face) 내부에 충진재(core)로서 투과특성이 요구되는 촬영유효부분과 구조강도를 고려한 구동기구 체결부를 각각 배치한 형상으로 설계하였다. 외곽 표면재는 비강도가 높아 경량이면서 구조적인 안전성이 탁월하며 특히 X-선 투과성이 우수한 탄소복합소재를 사용하였다. 내부 충진재로 촬영유효부분에는 소재의 균일한 등방성 셀구조와 X-선 흡수가 적은 특성이 장점인 열경화성 발포성형수지 재료, 테이블 하부의 구동부와 체결되는 부분은 알루미늄 판재를 조합하여 샌드위치 구조로 설계하였다.

설계된 테이블 상판의 유효성을 검증하기 위해 상판의 각 구성요소의 설계사양에 따라 조립된 상태에서 유한요소모델을 수립하여 정적해석을 수행하였다. 실제 테이블 조립 위치를 고정하고 정격하중이 테이블 상면에 분포하중으로 가해지는 경계조건으로 변형량과 최대주응력을 구하였다.

Table 1 Material properties of table top parts

Part	Density (kg/mm^3)	Young's Modulus(MPa)	Poisson's Ratio
Face	1.77×10^{-6}	90,000	0.29
Foam	5.21×10^{-8}	70	0.40
AL	2.70×10^{-6}	68,900	0.33

3. 시작품제작 및 성능평가

샌드위치 구조의 상판 제작을 위해 형상설계를 바탕으로 금형을 제작하고 탄소/에폭시 프리프레그의 레이업(layup)과 충진재를 삽입하여 진공 백 몰딩(vacuum bag moulding)법으로 성형하였다. 성형이 완료된 상판을 테이블의 구동 기구부와 조립 체결하여 시제품 제작을 완성하였다. 구동 기구부는 수평자세를 위해 3축의 직선이송과 경사자세를 위해 2축(롤링과 피칭) 회전구동을 구현하였다.

테이블 촬영유효면적에 걸쳐 X-선을 조사하여 결함이 검출되지 않아 균일한 투과특성을 나타낼 것

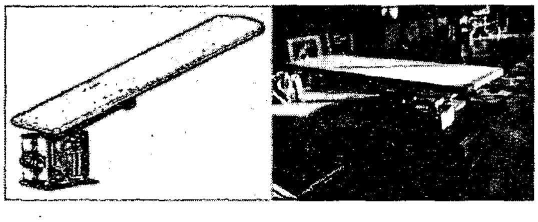

Fig.2 Design modeling and prototype of patient table

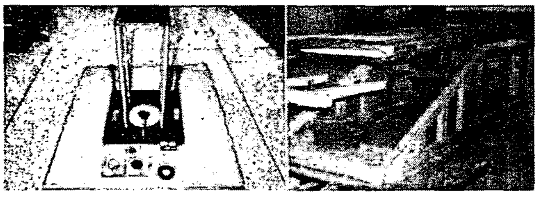

Fig. 3 Performance evaluation of table-top

으로 판단된다. 정량적인 투과특성을 평가하기 위해 KFDA 의료용X선장치 기준규격에 따라 투과특성 시험을 수행하였다. 관전압 100kV, 200mA, 0.1sec, 반가층 2.7mmAl 조건에서 X-선을 조사하여 투과특성을 나타내는 지표인 알루미늄 당량 값이 1.2mmAl로 나타나 인증조건에서 요구하는 2.0mmAl 이하 조건을 만족하였다.

외주형 테이블 상판의 구동기구 조립위치를 고정 구속하여 분포하중을 순차적으로 부여하며 끝 부분의 처짐량을 측정한 결과, 정격하중 1.96kN에서 최대 21mm 처짐을 보였고 최대 7.73kN에서 파단되어 정격하중에 비해 최대 3.9배의 안전률을 나타내었다.

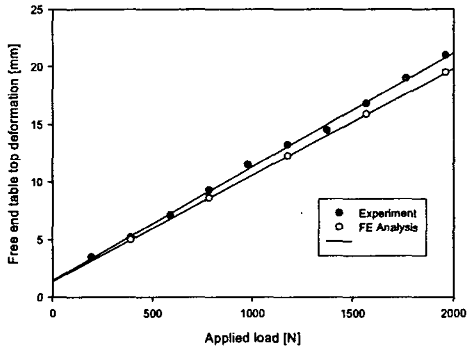

Fig. 4 Comparison of experimental and FEA results (applied load vs. table top deformation)

4. 결론

실시간 X-선 의료영상진단을 위해 사용되는 수술용 테이블에서 요구되는 X-선 투과특성, 기계적 안전성, 작동편의성을 고려하여 시제품을 개발하였다. 탄소복합소재를 표면재로 하는 샌드위치 구조의 테이블 상판을 제작하여 의료기기 관리기관에서 제시하는 기준인 2.0mmAl 이하의 X-선 투과특성을 나타내었다. 외주형 지지구조에서 필요로 하는 안전성을 확인하기 위해 유한요소법을 이용해 정적해석을 수행하여 정격하중 조건에서 상판 자유단의 처짐량과 발생 응력을 예측하고 실험적인 방법으로 비교평가하여 설계의 신뢰성을 확인하였다.

참고문헌

1. "Introduction to Digital X-ray Technology", GE Healthcare
2. "의료기기 기준규격 : 의료용 X선장치", 식품의약품안전청
3. "Part 1020 - Performance Standards for Ionizing Radiation Emitting Products", US FDA, 2004
4. "Colateral Standard : General Requirements for Radiation Protection in Diagnostic X-ray Equipment," IEC Standard 601-1-3, 1994