

척추교정 장치의 고강성 프레임 설계 High Stiffness Frame Design for a Spine Manipulation Device

*문영환¹, #김권희²

*Y. H. Moon¹, #K. W. Kim(kwonhkim@korea.ac.kr)²

¹ 고려대학교 대학원 기계공학과, ² 고려대학교 공과대학 기계공학부

Key words : stiffness, structure, orthogonal array, spine manipulation device

1. 서론

척추교정에 대한 관심이 늘어나고 있다. 올바른 척추자세는 인체의 자세를 아름답게 해주고 신진대사를 원활히 하는 효과가 있다.^[1] 척추교정법으로는 시술자가 바닥에 누워있는 환자에 물리적인 힘을 가하는 방식^[2]이 있으며, 척추교정 장치에 대한 연구는 한국형 척추교정기의 개발을 위한 인간공학적 접근^[3]이 있다. 척추교정 장치는 시술자가 척추교정을 원활히 하는데 도움이 되어야 하며, 환자의 심리적 안정과 안전을 위해서 고강성의 구조를 가져야 한다. 이와 관련한 최신 기술경향으로는 구조해석을 통해 구조의 최적 강건 설계를 진행 한 것이 있고, 유한요소해석과 실험계획법을 응용한 구조의 최적설계 기법^{[4]-[10]}이 있다.

본 연구의 목적은 Fig. 1에 보인 척추교정 장치^[11]의 강성을 높이는 것이다. 이를 위해 상용 유한요소해석 프로그램과 실험계획법을 사용하였다.

2. 척추교정 장치의 개요

본 연구의 대상인 척추교정 장치를 Fig. 1에 수록하였다. 매트 위에 엎드린 환자의 발목이 클램프(clamp)에 고정되어 상부로 적절한 높이만큼 끌어올려진다. 이에 따라 환자의 척추는 등 뒤쪽으로 퍼지게 된다. 이때 시술자는 팔 지지부에 몸을 의지한 상태로 발을 사용하여 척추에 물리적인 힘을 가하여 교정을 실시한다. 이와 같은 척추교정 장치는 조립성을 고려하여 팔지지부(arm rest), 하부(bottom), 2개의 측면부(side) 그리고 상부(head)로 구성된다. 각 부위 간의 결합부 위치와 상세 도면은 Fig. 2에 나타내었다.

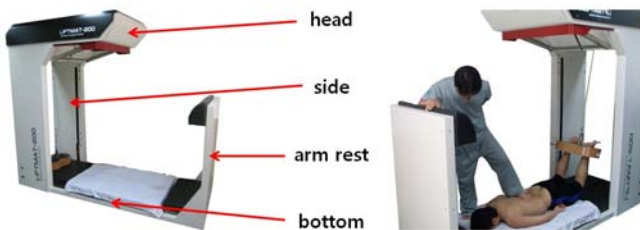


Fig. 1 Spine manipulation device for spine manipulation in 5 subassemblies.

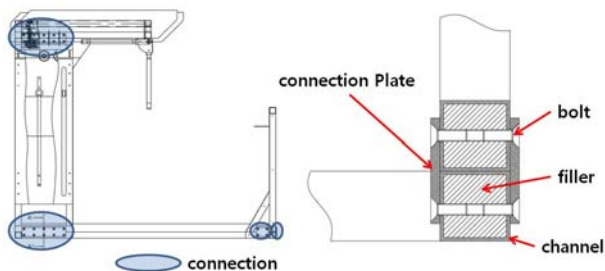


Fig. 2 Spine manipulation device with subassembly connection details.

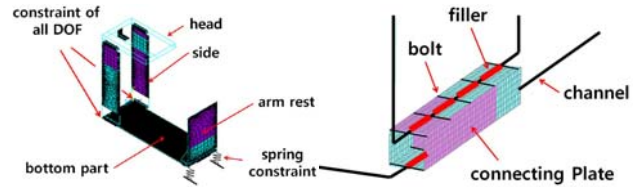


Fig. 3 Finite element model

Fig. 4 Connection model

3. 예비해석과 선정된 인자의 해석결과

Fig. 3 은 예비해석 모델을 보여주고 있다. 척추교정 장치는 합성수지 매트 위에 설치되므로 이를 반영한 해석모델의 경계조건을 설정하였다. 경계조건 타당성은 실제 모델의 진동모드와 모드해석(modal analysis)의 1차 모드형태(mode shape)를 비교하여 검증하였다. 척추교정 장치의 측면부에 비교적 큰 수직하중이 작용하므로 측면부와 결합되는 하부의 양 끝 절점을 구속하고 그 반대쪽 하부의 두 절점은 스프링으로 구속하는 방식의 경계조건을 설정 하였다. 각 부위의 결합부는 Fig. 4와 같이 모델링 하였다. 척추교정 장치의 자유진동은 보강판들이 면에 수직 방향으로 흔들리는 모드이며 1차 자유진동수(natural frequency)는 2.9Hz 로 확인되었다. 즉 하부에 대한 측면부와 상부의 굽힘강성이 부족하다고 판단되어, 이를 개선하는 목적으로 설계인자를 설정하였다. Table 1에 수록한 4개의 설계인자는 하부-측면부 및 측면부-상부 각자를 연결하는 보강재의 유무, 측면부의 비틀림 강성에 영향을 줄 수 있는 가로 보강재의 유무, 그리고 측면부의 보강판 유무 등 이다.

Table 1 Design parameters & levels of the 1st analysis

Symbols	Design parameters	Level 1	Level 2
A	connection channel between bottom and side	X	O
B	connection channel between head and side	X	O
C	Horizontal channel in the side frame	X	O
D	Supplementary panel in the side frame	X	O

Table 2 L8(2⁷) Orthogonal array and results of the 1st and the 2nd analyses.

Run	1	2	3	4	5	6	7	1st analysis (parameters in Table 1) (Unit : Hz)	2nd analysis (parameters in Table 2) (Unit : Hz)
	A	B	C	D					
1	1	1	1	1	1	1	1	3.4	5.0
2	1	1	1	2	2	2	2	2.8	4.6
3	1	2	2	1	1	2	2	3.4	4.6
4	1	2	2	2	2	1	1	4.1	5.4
5	2	1	2	1	2	1	2	3.6	4.4
6	2	1	2	2	1	2	1	4.3	5.1
7	2	2	1	1	2	2	1	4.5	5.2
8	2	2	1	2	1	1	2	4.2	4.8

Table 3 Design parameters & levels of the 2nd analysis

Symbols	Design parameters	Level 1	Level 2
A	thickness of arm rest frame channels	2 mm	3 mm
B	thickness of bottom frame channels	2 mm	3 mm
C	thickness of side frame channels	2 mm	3 mm
D	thickness of head frame channels	2 mm	3 mm

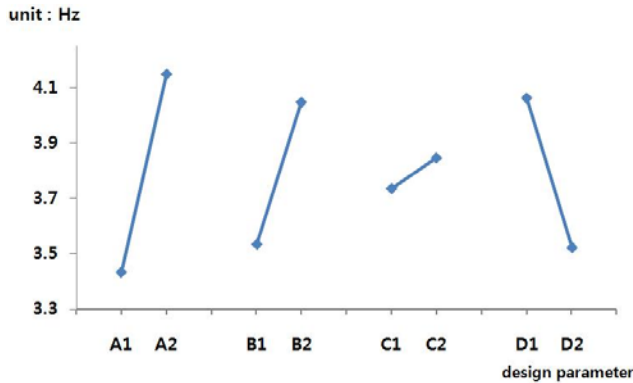


Fig. 5 Mean value analysis for the parameters in table 1

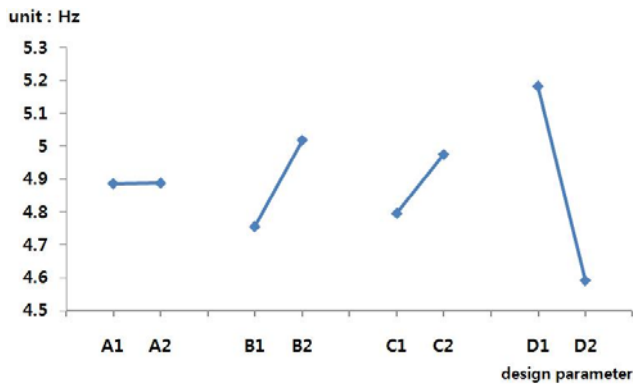


Fig. 6 Mean value analysis for the parameters in table 2

1차 해석을 위하여 Table 1의 4개 설계인자를 선택하였다. 이 들을 L8 직교배열표에 반영하여 수행한 해석결과를 Table 2 에, 민감도 분석결과를 Fig. 5에 각각 수록 하였다. 하부-측면부 및 측면부-상부 각자를 연결하는 보강재가 강성을 증가시키며, 측면부의 가로 보강재의 기여도는 작은 것으로 확인되었다. 측면부의 보강판은 질량을 증가시켜 오히려 고유진동수를 감소시키는 것으로 나타났다. 교호작용은 발생하지 않는 것으로 나타났으며 프레임 강성을 극대화하기 위한 설계변수의 조합은 Fig. 5에서와 볼 수 있듯이 A2B2C2D1이 된다. 이에 대한 1차 고유진동수는 4.8Hz로 확인되었으며 Fig. 1에 보인 시제품의 고유진동수 2.9Hz보다 약 70%가량 증대된 결과를 나타냈다.

각 부위를 구성하는 프레임은 중공 사각단면 채널을 용접하여 제작되는데, 부위별 채널 두께의 영향을 알아보기 위하여 2차 해석을 실시하였다. 척추교정장치를 구성하는 4 가지 부위별 채널 두께의 수준별 설정 값을 Table 3 에 수록하였으며 해석 결과는 Table 3 에 포함되어 있다. 채널두께는 시판되는 채널의 사양을 고려하여 선정하였다. 2차 해석의 기본 모델은 1차 해석에서 얻어진 최적조합 모델을 사용하였다. 2차 해석의 민감도 분석 결과를 Fig. 6에 수록하였다. 팔지지부의 채널 두께는 진동특성에 거의 영향을 미치지 않으며, 헤드의 경량화가 매우 중요한 것으로 볼 수 있다. 측면부와 하부의 채널 두께는 클수록 유리한 것으로 판단된다. 2차 해석에서 예상되는 최대 고유진동수는 L8 직교배열표의 4 번째 경우이며 5.4Hz 이다. 이는 Fig. 1 의 시제품과

비교 하였을 때 약 90% 증가한 값이고 1차 해석에서 얻어진 모델 기준으로 약 12% 증대한 값이다.

4. 결론

상용 유한요소해석 프로그램과 실험계획법을 이용하여 프레임 강성을 극대화하기 위한 설계변수 조합을 모색한 결과 기존 시제품 (Fig. 1) 보다 1차 고유진동수를 약 90% 높일 수 있었다. 예비해석으로 척추교정 장치를 구성하는 5 개 부분 조립체 사이의 결합부 모델과 경계조건을 확정하였다. 이 후 2 단계의 해석을 통하여 현실적으로 구현 가능하며 프레임 강성을 극대화 할 수 있는 설계변수의 조합을 얻을 수 있었다. 프레임의 강성을 높이는 데는 측면부-하부, 측면부-상부의 결합부를 강화하는 보강재가 유효하며, 상부의 채널을 얇게 하여 경량화 하고 측면부와 하부의 채널은 두껍게 선택하는 것이 좋다는 결론을 얻을 수 있었다.

후기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2009-0063169).

참고문헌

1. 김민균, 허동석, 윤일지, 오민석, “추나 관련 논문에 대한 연구” 척추신경추나의학회지, 2007;2(1):127-152
2. 한무규, 허수영, 최진만, “요추간판탈출증에 상용되는 중국추나 기법에 관한 연구”, 2000;1(1):103-117
3. 정화식, “한국형 척추교정기의 개발을 위한 인간공학적 접근”, 공업경영학회지, v.22 no.52 = no.52, 1999, pp. 323-335
4. 오덕수, “충격부하를 받는 휴대용발사 구조물의 최적설계”, 고려대학교 대학원 석사학위 논문 2001
5. 김명진, “기계식 주차설비의 차량 수납장치 최적설계”, 고려대학교 대학원 석사학위 논문 2005
6. 윤지용, 오광환, 남현욱, “굽힘-비틀림 복합하중을 받는 복합재료 구조물의 최적 강건 설계”, 한국복합재료학회 2005년도 추계학술발표대회 논문집, 2005 Nov. 18, 2005, pp.211-214
7. Doltsinis I., Kang Z., "Robust design of structures using optimization methods", Computer methods in applied mechanics and engineering, v.193 no.23/26, 2004, pp.2221-2237
8. K. S. Kwon, R. M. Lin, "Robust finite element model updating using Taguchi method", Journal of sound and vibration, Vol.280, pp. 77-99, 2005
9. Xue, W. ; Liu, S, "Design optimization and experimental study on beam string structures", Journal of constructional steel research : JCSR, v.65 no., 2009, pp. 70-80
10. J. K. Paik, B. J. Kim, J. K. Seo, "Methods for ultimate limit state assessment of ships and ship-shaped offshore structures: Part I-Unstiffened plates", Ocean engineering, V.35 no.2, 2008, pp. 261-270
11. 김정훈, 유홍석, 김권희, 채수원, “척추 시술용 인상기”, Korean patent application, 2009-0075149
12. Ansys User's Manual for Revision 10.0
13. Ansys Theory Manual for Revision 10.0