

심층근의 ta ilizer의 역할에 대한 연구 tud of the Role of Deep Muscles as ta ilizer

*김수택¹, #김영은²

*S. T. Kim¹, #Y. E. Kim(yekim@dankook.ac.kr)²

¹ 단국대학교 대학원 기계공학과, ² 단국대학교 기계공학과

Key words : Optimization, Local muscles, Back muscles, Follower load, Lordosis, Muscle force

1. 서론

요추 주변의 근육들은 상호 작용에 의하여 인체가 무거운 물건을 들고 서있거나, 들어 올리는 행위로 인해 인체에 가해지는 하중을 효과적으로 지탱하여 주고 있다. 따라서 이러한 근육의 역할 및 효과를 분석하고자 많은 연구가 진행되어지고 있으나 근육 종류의 다양성 및 실험적 방법의 한계성에 의해 매우 제한된 연구만이 이루어지고 있다.

Penning⁽¹⁾ 은 CT를 이용하여 대요근(psoas major muscles)의 부착위치를 알아내고, 이를 바탕으로 metal strip과 string을 이용하여 신전(extension)과 굴전(flexion) 시 대요근의 길이 변화와 전만(lordosis)을 유지하는 근육의 작용방향을 연구하였으며, Wilke등⁽²⁾ 은 실험을 통해 신전-굴전 시 요추의 안정성을 유지하는 몸통근육력(trunk muscle force)의 크기를 결정하였다. 한편 in-Vitro 상태의 실험적 연구에서는 심층근의 역할을 추체의 회전 중심점을 연결시킨 방향으로 Follower load를 가한 후 하중 크기에 따라 요추에 미치는 영향을 분석하는 방법이 널리 사용되고 있다.^(3,4)

Zander등⁽⁵⁾ 은 요추의 국부등쪽근(local dorsal muscles)을 부착한 모델에 상체를 0~30° 까지 10° 씩 굴전시키고 각 기울기에서 근육력을 0, 5, 10N 으로 증가시켜 이에 따른 추간관의 응력을 분석한 결과 근육력(muscle force)이 추간관의 응력과 척추의 하중에 큰 영향을 준다는 것을 보였으나 모든 근육력을 일괄적으로 동일하게 적용(0, 5, 10N)하여 각 근육력 간의 상대적 특성이 무시되었다. Shirazi등⁽⁶⁾ 은 국부근(local muscles)이 요추의 자세 변화 시 근육력을 세 종류의 목적함수(근육력의 최소화, 근육응력의 최소화, 추간관 전단응력의 최소화)에 따라 분석하여 전만을 유지하는 것은 대요근과 다열근의 의존도가 크다는 결과를 얻었으나 단일 목적함수만을 사용하였다는 단점과 요추 및 추간관을 빔(beam)요소로 간략화하여 해석하였다는 한계점이 존재했다. 따라서 본 연구에서는 언급된 한계점의 해결방안으로 상세 요추 모델을 사용하였고 다중목적함수를 사용한 최적화를 통해 심층의 국부근이 Stabilizer의 역할을 함을 유한요소해석을 통해 분석하였다.

2. 모델링

본 연구에서 사용된 모델은 추체 및 추간관, 인대를 포함하는 상세 요추 모델과 천골(sacrum) 그리고 빔(beam)요소로 간략화하여 모델링한 흉추부 및 늑골장(rib cage)로 구성하였다.

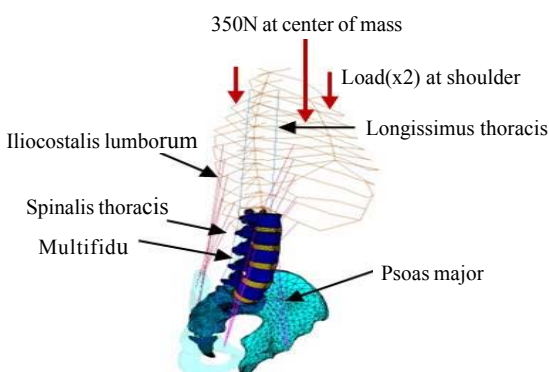


Fig. 1 Developed FE Model

근육은 세 가지 종류의 근육으로 구성되어 상체의 무게로 인한 굴전을 지탱하는 배부근(back muscles)과 두 가지 종류의 근육으로 구성되어 요추의 전만각(lordotic angle)을 조정하는 국부근(local muscles)의 두 그룹으로 구분하였다. 두 그룹에 해당되는 근육들은 다음과 같다.

1. Back Muscles: Iliocostalis lumborum(요장능근), Longissimus thoracis(흉최장근), Spinalis thoracis(흉근)
2. Local Muscles: Multifidus(다열근), Psoas major(대요근)

각 근육은 해부학적 자료를 토대로⁽¹⁾ 요장능근 6개, 흉최장근 5개, 흉근 2개, 다열근 5개, 대요근 5개의 층으로 모델링하였다. Fig.1은 본 연구에서 개발된 유한요소 모델을 보여주고 있다.

3. 해석방법

직립자세에서 천골을 고정하고 상체의 무게 중심에 일반적인 성인의 상체 무게인 350 N을 적용 하였으며, 양쪽 어깨에 나누어 세 가지의 하중(100, 800, 1400 N)을 각기 부과하였다. 근육의 근육력(muscle force)을 설계변수로 하여 두 단계의 최적화(optimization)를 시행한다.(Fig. 2) 첫 단계로 배부근에 의해 상체가 기울어지지 않고 자세를 유지할 수 있도록 최적화를 하였으며, 두 번째 단계로는 다음 식과 같이 국부근에 의해 요추의 각 추간관에서 압력과 전단응력의 편차를 최소화되도록 최적화하였다.

$$Min f = \alpha \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (S_{n,i} - S_{n,ave})^2} + \beta \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (SP_{n,i} - SP_{n,ave})^2}$$

where α, β ; weighting factor

$S_{n,i}$; Shear stress of the nucleus at i-th disc

$S_{n,ave}$; Averaged shear stress of the nucleus

$SP_{n,i}$; Nucleus pressure at i-th disc

$SP_{n,ave}$; Averaged pressure of the nucleus

Subject to

$-2 \leq U_x \leq 2$ where U_x ; Displacement of the truck center

본 연구의 계산은 상용 소프트웨어인 ABAQUS 6.6 (Hibbit, Karlsson & Sorenson, Inc.)와 VisualDOC 6.0 (VR&D, Inc.) 프로그램을 이용하였다.

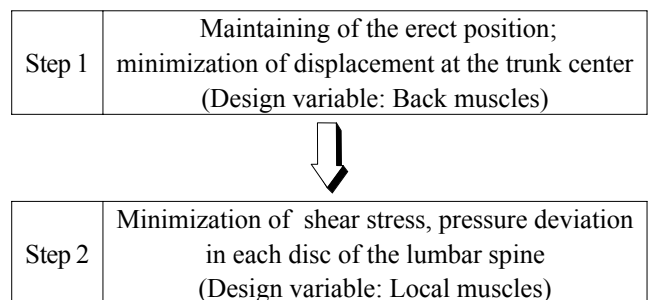


Fig. 2 Flow chart of optimization process

4. 해석결과

직립 자세를 유지하기 위해 배부근을 이용한 첫 단계의 최적화

에서는 각 추간관의 압력은 큰 하중이 부과되면서 편차가 커지며 집중현상이 두드러지게 나타났다. 다음 단계인 국부근을 이용한 최적화를 시행한 후에는 각 추간관 압력의 집중이 완화되며 편차가 줄어들었다. 또한 하중이 증가함에도 불과하고 압력은 100 N의 하중이 가해졌을 경우와 거의 비슷한 수준을 유지해주는 결과를 얻었다.(Fig. 3) 요추부 추간관의 전단응력 역시 큰 하중이 부과되면 평균 및 편차의 값이 큰 증가를 보였으나 국부근의 최적화를 통하여 편차가 감소하였으며 평균값의 수준을 큰 폭으로 낮춰 주었다.(Table 1) 이러한 경향은 (α, β)가 (1,0) 혹은 (0,1) 인 경우와 같이 단일 목적함수를 사용하였을 때 보다 (1,1) 이 되는 다중 목적함수를 사용하였을 때 평균값 및 편차의 감소가 더욱 크게 나타났다.

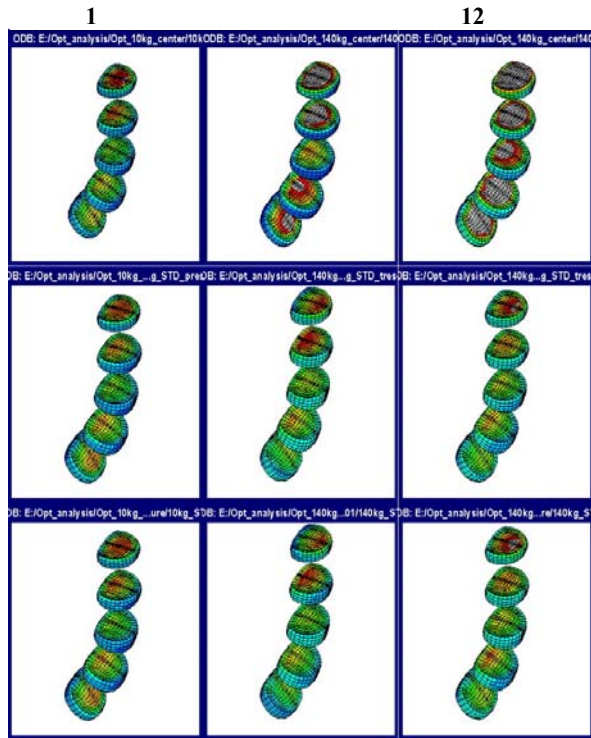


Fig. 3 Pressure distribution in the lumbar disc according to object of optimization. (A), Maintaining of the erect position by back muscles(step 1). (B), Minimization of shear stress and pressure deviation in lumbar disc to be optimized by local muscles (step 2; $\alpha=1, \beta=1$). (C), Minimization of shear stress deviation in lumbar disc to be optimized by local muscles(step2; $\alpha=1, \beta=0$).

Table 1 Shear stress(MPa) and standard deviation in the lumbar disc

	1		14			
	ANN	NUC	ANN	NUC	ANN	NUC
A	0.336 (0.023)	0.240 (0.026)	0.429 (0.075)	0.305 (0.057)	0.584 (0.057)	0.430 (0.060)
B	0.335 (0.021)	0.241 (0.027)	0.333 (0.039)	0.255 (0.020)	0.359 (0.022)	0.249 (0.030)
C	0.336 (0.021)	0.241 (0.027)	0.310 (0.031)	0.242 (0.024)	0.368 (0.022)	0.254 (0.030)
D	0.337 (0.018)	0.242 (0.025)	0.348 (0.065)	0.246 (0.041)	0.375 (0.023)	0.258 (0.030)

A; minimization of displacement at the trunk center(step 1)
 B; minimization of shear stress and pressure deviation($\alpha=1, \beta=1$)
 C; minimization of pressure deviation($\alpha=1, \beta=0$)
 D; minimization of shear stress deviation($\alpha=0, \beta=1$)
 ANN; annulus, NUC; nucleus of all level lumbar disc

. 토의 및 결론

본 연구에서는 심층부의 국부근에 의해 요추의 전만(lordosis)이 만들어지고 이로 인해 요추부 추간관의 전단응력 및 압력의 편차와 평균값을 감소시켜 큰 하중에도 견딜 수 있도록 안정화함을 유한요소해석을 통해 확인 하였다. 많은 기존의 선행 연구에서는 요추부의 국부근을 케이블을 이용한 Follow load로 하여 그 역할이나 효과 등을 실험적 방법에 의해 진행되어 졌다.

Table 2 Optimized Local muscle force (N)

	100N	800N	1400N
multi.1	90.00	104.60	118.46
multi.2	3.06	2.63	1.94
multi.3	0.71	8.01	5.25
multi.4	11.85	10.85	8.37
multi.5	20.00	22.77	13.21
psoas.1	16.43	0.01	19.64
psoas.2	0.60	0.01	7.23
psoas.3	5.32	4.55	3.56
psoas.4	2.05	0.01	3.06
psoas.5	1.86	41.84	20.09
multi; multifidus, psoas; psoas major			

따라서 이러한 Follow load에 의해 각 추체의 운동은 상대적인 안전성을 보이고 있었으나 추간관에 과도한 압력을 발생하게 된다.⁽³⁾ 본 연구에 의한 해석 결과 심층근은 Stabilizer로 요추가 안정화되도록 만든다는⁽⁴⁾ 실험적 결과와도 잘 부합하는 결과를 얻을 수 있었을 뿐만 아니라 이들 근육에 의해서 발생하는 적절한 전만각은 각 추간관의 전단응력 및 수핵 압력의 감소와 집중 완화를 유도하여 요추부를 안정화함을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구사업(과제번호 : R01-2006-000-10257-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. L. Penning, "Psoas Muscle and Lumbar Spine Stability: A Concept Uniting Existing Controversies," *Eur spine J.*, Vol. 9, pp. 577-585, 2000.
2. H. J. Wilke, A. Rohlmann, S. Neller, F. Graichen, L. Claes and G. Bergmann, "A Novel Approach to Determine Trunk Muscle Forces During Flexion and Extension," *Spine*, Vol. 28, No. 23, pp. 2585-2593, 2003.
3. A. G. Patwardhan, R. M. Havey, K. P. Meade, B. Lee and B. Dunlap, "A Follower Load Increase the Load-Carrying Capacity of the Lumbar Spine in Compression," *Spine*, Vol. 24, No. 10, pp. 1003-1009, 1999.
4. A. Rohlmann, S. Neller, L. Claes, G. Bergmann and H. J. Wilke, "Influence of a Follower Load on Intradiscal Pressure and Intersegmental Rotation of the Lumbar Spine," *Spine*, Vol. 26, No. 24, pp. 557-561, 2001.
5. T. Zander, A. Rohlmann, J. Calisse and G. Bergmann, "Estimation of Muscle Forces in the Lumbar Spine During Upper-Body in Clnation," *Clinical Biomechanics*, Vol. 16, No. 1, pp. 73-80, 2001.
6. A. Shirazi-Adl, S. Sadouk, M. Parnianpour, D. Pop and M. El-Rich, "Muscle Force Evaluation and the Role of Posture in Human Lumbar Spine Under Compression," *Eur Spine J.*, Vol. 11, pp. 519-526, 2002.