

<표 6> 골밀도(BMD) 검사 결과

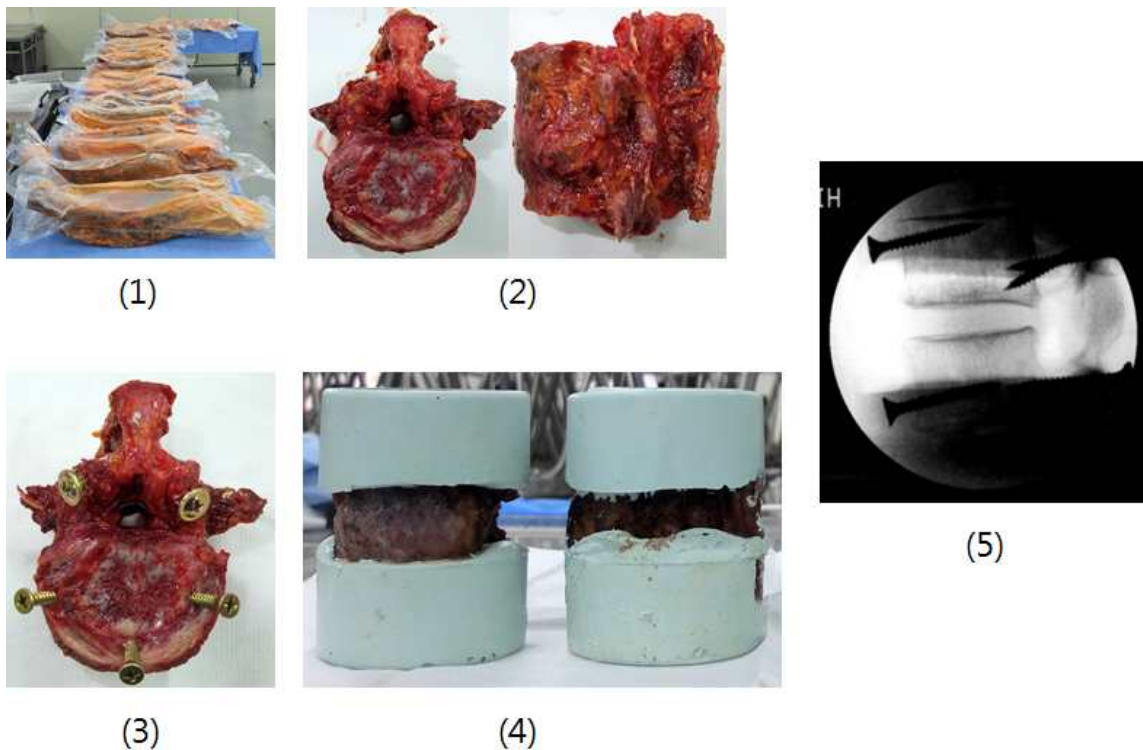
ID	Sex	Age	Weight [kg]	Height [mm]	T-Score	BMD [g/mm ²]
0100037	M	77	55	1630	1.158	-0.6
0100038	M	47	60	1650	1.013	-1.8
0100039	M	91	50	1510	1.308	0.6
0100040	F	94	37	1430	0.568	-5.3
0100041	M	70	67	1660	1.282	0.4
0100042	M	90	60	1650	0.962	-2.2
0100043	M	76	57	1630	1.430	1.6
0100044	F	67	44	1500	1.030	-1.6
0100045	M	58	56	1570	1.157	-0.6
0100046	M	59	45	1670	0.988	-2.0
0100047	F	73	47	1480	0.732	-4.0
0100048	F	86	44	1490	0.733	-4.0
0100049	M	84	62	1680	0.881	-2.9
0100050	F	66	34	1590	0.728	-4.0
0100051	F	81	58	1480	1.088	-1.1
0100052	M	71	34	1510	1.092	-1.2
0100053	F	89	34	1350	0.901	-2.6
0100054	M	64	52	1620	1.137	-0.8
0100055	F	85	41	1480	0.847	-3.1
0100056	M	49	69	1650	0.972	-2.1
0100057	M	74	54	1670	0.970	-2.1
0100058	M	54	46	1680	1.252	0.1
0100059	M	75	68	1670	1.123	-0.9
0100060	M	79	61	1680	1.141	-0.8
0100061	M	64	80	1720	0.898	-2.7
0100062	M	77	41	1670	1.099	-1.1
0100063	M	72	37	1610	1.494	2.1
0100064	M	70	45	1600	1.028	-1.7
0100065	M	75	56	1630	1.199	-0.3
0100066	F	61	58	1640	0.716	-4.1
0100067	F	60	61	1530	0.805	-3.4
0100068	M	72	55	1470	1.078	-1.3
0100069	F	69	78	1640	0.947	-2.2
0100070	M	76	45	1600	1.377	1.1
0100071	M	71	63	1710	1.352	0.9
0100072	F	83	50	1540	0.871	-2.9
0100073	M	67	78	1690	0.955	-2.3
0100074	M	52	59	1580	1.406	1.4
0100075	M	67	60	1690	0.810	-3.4
0100076	F	66	58	1520	0.899	-2.6
0100077	F	63	46	1620	0.834	-3.2

0100078	M	84	68	1700	1.135	-0.8
0100079	M	70	75	1580	1.191	-0.4
0100080	M	84	41	1660	0.814	-3.4
0100081	M	77	43	1660	1.036	-1.6
0100082	F	83	63	1550	1.010	-1.7
0100083	F	74	55	1450	0.935	-2.3
0100084	M	85	35	1590	1.286	0.4
0100085	F	93	39	1480	0.698	-4.3
0100086	F	80	47	1470	1.110	-0.9

(3) 시험편 제작

시험에 사용할 척추를 물성변화를 초래할 수 있는 방법을 배제하고 순수 외과적 방법으로 적출한다. 적출한 척추는 앞세로인대, 뒤세로인대, 황색인대, 가시사이인대, 가시끝인대를 제외한 주변조직은 최대한 제거한다. 시험기에 장착을 위해 나사못과 레진 또는 뼈시멘트를 이용하여 상/하단에 고정할 수 있는 부분을 부착한다. 이때 사용된 나사못이 척추관절의 움직임을 방해하지 않게 주의하며, 필요시 X선 검사를 시행하여 확인한다.

<그림 7> 시험편 제작 과정

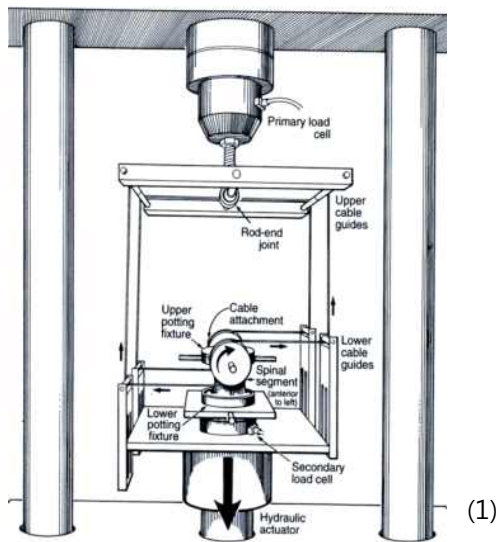


(1) 척추 적출 (2) L2/3, L4/5 분리 (3) 나사못 고정
(4) 양단 고정 작업 (5) X선 검사

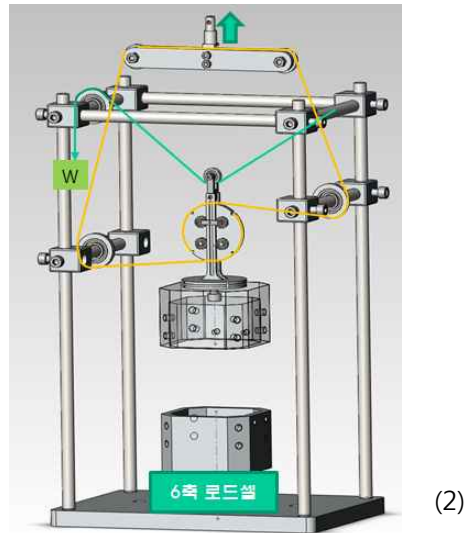
(4) 시험 장비 제작

척추 관절의 움직임 시험을 위한 **spine simulator**는 많은 연구자들에 의해 다양하게 개발되어 사용되고 있다. 이 연구에서는 국제적으로 발표된 다른 연구자들의 시험 결과와 비교하여 사용할 수 있도록 다수의 사용자를 가지고 있는 **Crawford** 등이 제안한 시험기에 **Tang** 등이 제안한 **3D floating ring**을 적용하여 시험장비를 설계하고 제작하였다.

<그림 8> 시험장치 설계 및 제작



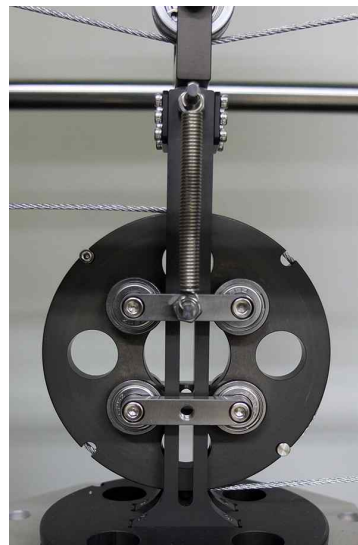
(1)



(2)



(3)

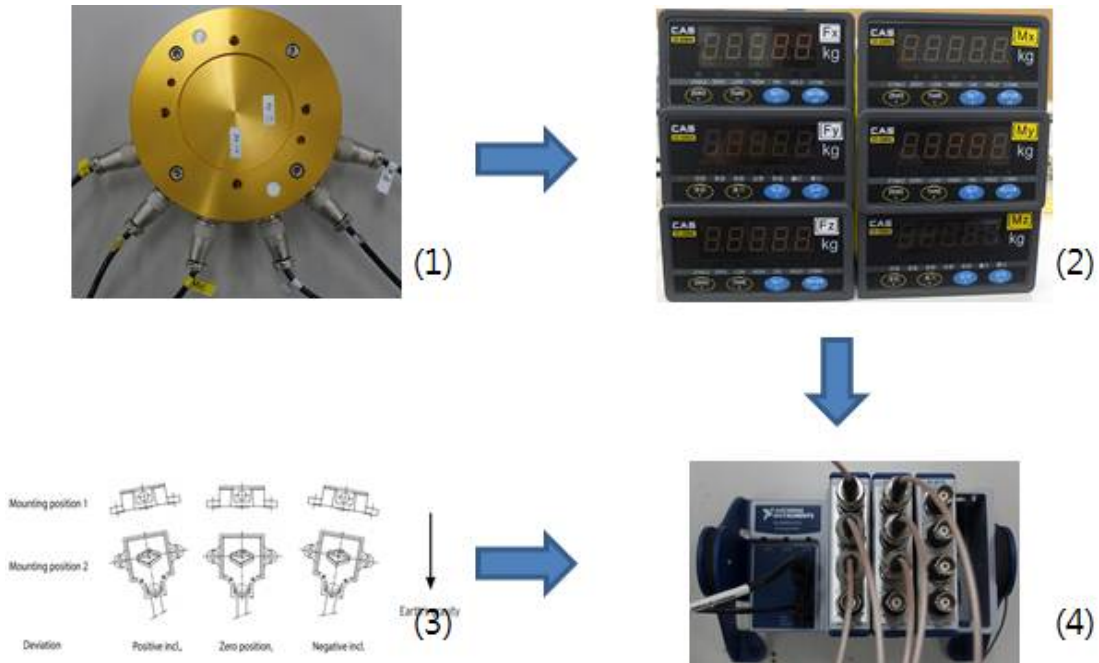


(4)

(1) Crawford 등이 제안한 cable driven 시험기 (2) 이 연구에서 제작 사용한 시험기
 (3) Tang 등이 제안한 3D floating ring (4) 이 연구에서 제작 사용한 floating 장치

케이블 구동 시험장치에 의해 아래 시험 조건과 같은 크기의 모멘트가 작용되며, 척추 관절의 기울임 각도는 시험편 상단 고정장치에 부착된 경사센서를 통해 측정되며, 시험편에 부하된 모멘트의 크기는 시험편 하단 고정장치 아래 부착된 6축 로드셀에 의해 측정된다. 로드셀에나 나오는 힘, 모멘트 크기 정보, 경사센서에서 나오는 기울임 각도, 케이블을 구동하고 있는 재료시험기에서 나오는 힘의 크기는 범용 자료 수집장치 (DAQ, Data acquisition)에 의해 저장된다.

<그림 9> 시험 결과 측정



- (1) 6축 로드셀 (MAS-333, CAS, Korea)
- (2) 디스플레이 및 신호 증폭기 (CI-1580A, CAS, Korea)
- (3) 경사 센서 (SCA121T, VTI, Finland)
- (4) 자료수집장치 (Compact RIO, NI, USA)

(5) 시험 조건

시험 결과의 활용도를 높이고 다른 연구집단 또는 연구자들의 결과와 비교가 가능하게 하기 위하여 다수의 문헌을 참고하여 아래와 같은 시험조건으로 굽힘, 펌, 가쪽굽힘, 비틀림, 압축 시험을 실시한다.

<표 7> 시험 조건

Motion	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Holding Time
Flexion (굽힘)	2 Nm	4 Nm	6 Nm	8 Nm	30 sec
Extension (펴)	-2 Nm	-4 Nm	-6 Nm	-8 Nm	30 sec
Lateral Bending (가쪽굽힘, 왼쪽)	2 Nm	4 Nm	6 Nm	8 Nm	30 sec
Lateral Bending (가쪽굽힘, 오른쪽)	-2 Nm	-4 Nm	-6 Nm	-8 Nm	30 sec
Twist (비틀림, 왼쪽)	2 Nm	4 Nm	6 Nm	8 Nm	30 sec
Twist (비틀림, 오른쪽)	-2 Nm	-4 Nm	-6 Nm	-8 Nm	30 sec
Compression (압축)	0 - 400N 까지 연속적으로 부하				-

(6) 시험 결과

◎ 굽힘 / 폼 시험

<표 8> L2/3 굽힘 / 폼 시험 결과 (단위 : 도)

ID	Extension (폼)					Flexion (굽힘)			
	-8Nm	-6Nm	-4Nm	-2Nm	0Nm	+ 2Nm	+ 4Nm	+ 6Nm	+ 8Nm
0100037	-4.17	-3.37	-2.57	-1.63	0.0	4.18	5.84	6.76	7.48
0100039	-5.49	-4.12	-2.93	-1.77	0.0	1.77	3.11	4.08	5.03
0100040	-6.37	-4.98	-3.64	-2.32	0.0	4.40	5.73	6.78	7.89
0100041	-3.95	-3.22	-2.46	-1.56	0.0	4.30	5.48	6.22	6.91
0100042	-4.04	-3.29	-2.51	-1.68	0.0	3.51	4.58	5.34	6.10
0100043	-2.35	-1.68	-1.10	-0.50	0.0	0.33	0.72	1.19	1.72
0100045	-3.24	-2.66	-2.04	-1.26	0.0	4.24	6.11	7.08	7.78
0100048	-5.13	-4.08	-3.08	-2.05	0.0	2.43	3.52	4.46	5.58
0100049	-4.89	-4.04	-3.00	-1.84	0.0	5.77	7.41	8.50	9.43
0100050	-5.89	-4.55	-3.06	-1.62	0.0	3.14	4.60	5.76	6.75
0100052	-3.56	-2.81	-1.99	-1.14	0.0	2.96	4.18	5.30	6.26
0100054	-4.95	-3.93	-2.91	-1.71	0.0	3.89	5.64	6.69	7.52
0100055	-5.89	-4.53	-3.22	-1.92	0.0	2.25	3.47	4.65	5.72
0100056	-3.54	-2.78	-2.08	-1.36	0.0	7.79	10.09	11.22	12.16
0100057	-4.08	-3.30	-2.49	-1.51	0.0	5.63	7.15	8.12	8.90
0100058	-3.23	-2.54	-1.80	-1.06	0.0	7.43	8.96	9.85	10.63
0100059	-3.19	-2.52	-1.83	-1.10	0.0	3.51	4.90	5.72	6.39
0100060	-3.84	-3.00	-2.18	-2.18	0.0	2.74	4.19	5.15	6.05
0100062	-3.82	-2.90	-2.11	-1.31	0.0	1.58	2.51	3.23	3.94
0100063	-3.57	-2.88	-2.14	-1.34	0.0	2.77	3.43	4.10	4.72
0100064	-5.59	-4.36	-3.19	-1.77	0.0	4.66	6.72	7.82	8.71
0100065	-5.30	-4.31	-3.21	-1.95	0.0	2.61	3.49	4.31	4.91
0100066	-5.28	-4.14	-2.79	-1.43	0.0	3.17	4.67	5.72	6.62
0100067	-3.81	-2.98	-2.10	-1.19	0.0	2.79	3.97	4.85	5.60
0100068	-5.46	-4.19	-2.99	-1.71	0.0	1.92	3.10	4.04	4.96
0100069	-10.09	-7.78	-5.77	-3.62	0.0	4.66	6.50	8.06	9.82
0100070	-5.02	-4.20	-3.32	-2.17	0.0	3.13	4.59	5.60	6.52
0100071	-6.28	-5.21	-3.95	-2.60	0.0	4.15	6.00	7.26	8.45
0100073	-4.66	-3.76	-2.82	-1.71	0.0	2.58	3.48	4.20	4.77
0100075	-6.31	-4.76	-3.43	-1.96	0.0	2.55	4.20	5.40	6.43
0100076	-6.82	-5.35	-3.84	-2.71	0.0	3.54	5.29	6.36	7.67

ID	Extension (펴)					Flexion (굽힘)				
	-8Nm	-6Nm	-4Nm	-2Nm	0Nm	+2Nm	+4Nm	+6Nm	+8Nm	
0100077	-13.08	-9.43	-6.29	-3.50	0.0	2.78	5.33	7.75	10.41	
0100078	-5.83	-4.74	-3.66	-2.32	0.0	5.15	7.04	8.66	9.85	
0100079	-4.10	-3.28	-2.35	-1.32	0.0	1.38	2.48	3.25	3.96	
0100080	-5.71	-4.41	-3.23	-1.93	0.0	5.30	6.59	7.57	8.51	
0100081	-4.52	-3.45	-2.46	-1.39	0.0	2.91	4.36	5.26	5.96	
0100082	-5.38	-4.39	-3.52	-2.34	0.0	2.76	3.82	4.61	5.31	
0100083	-5.71	-4.77	-3.63	-2.41	0.0	3.38	5.26	6.52	7.60	
0100085	-3.70	-3.03	-2.34	-1.49	0.0	3.26	4.24	5.05	5.81	
0100086	-4.39	-3.63	-2.80	-1.82	0.0	1.60	2.33	2.96	3.61	

<표 9> L4/5 굽힘 / 폼 시험 결과 (단위 : 도)

ID	Extension (펴)					Flexion (굽힘)				
	-8Nm	-6Nm	-4Nm	-2Nm	0Nm	+2Nm	+4Nm	+6Nm	+8Nm	
0100037	-5.14	-4.35	-3.44	-2.21	0.0	7.13	9.10	10.18	11.11	
0100038	-6.90	-5.22	-4.27	-2.88	0.0	10.91	12.19	13.78	16.37	
0100039	-5.19	-4.32	-3.50	-2.33	0.0	4.00	6.63	8.26	9.47	
0100041	-5.20	-4.17	-3.07	-1.84	0.0	3.77	5.08	6.13	7.03	
0100042	-4.51	-3.73	-2.88	-1.84	0.0	3.30	4.78	5.89	6.95	
0100043	-1.96	-1.49	-1.02	-0.54	0.0	0.42	0.95	1.57	2.23	
0100044	-3.92	-2.97	-2.08	-1.12	0.0	7.20	9.08	10.27	10.63	
0100045	-3.12	-2.58	-1.95	-1.27	0.0	6.55	8.64	9.93	10.96	
0100046	-5.23	-3.99	-2.93	-1.80	0.0	3.90	5.31	6.42	7.50	
0100047	-3.62	-2.92	-2.08	-1.31	0.0	13.82	15.80	17.20	18.46	
0100048	-3.49	-1.90	-1.21	-0.65	0.0	0.44	1.05	1.68	2.56	
0100049	-4.86	-4.02	-3.08	-1.92	0.0	4.94	6.34	7.31	8.17	
0100050	-6.66	-5.37	-3.90	-2.29	0.0	10.13	12.96	15.65	17.46	
0100051	-3.63	-2.98	-2.28	-1.52	0.0	8.35	10.68	12.07	13.09	
0100052	-4.22	-3.40	-2.56	-1.57	0.0	7.26	9.18	10.98	12.43	
0100053	-4.68	-4.01	-3.20	-2.07	0.0	5.18	6.85	8.13	9.30	
0100056	-4.00	-3.31	-2.52	-1.66	0.0	11.81	13.65	14.78	15.74	
0100057	-4.27	-3.48	-2.60	-1.56	0.0	5.37	7.92	9.47	10.75	
0100058	-1.50	-0.78	0.04	0.92	0.0	7.88	9.83	11.09	12.11	
0100059	-5.70	-4.82	-3.82	-2.65	0.0	6.53	7.99	9.04	9.96	
0100060	-4.11	-3.33	-2.39	-1.41	0.0	3.06	4.70	5.91	7.05	

ID	Extension (펴)					Flexion (굽힘)			
	-8Nm	-6Nm	-4Nm	-2Nm	0Nm	+2Nm	+4Nm	+6Nm	+8Nm
0100061	-3.33	-2.78	-2.13	-1.40	0.0	11.66	13.19	14.24	15.04
0100062	-3.04	-2.49	-1.91	-1.21	0.0	2.83	4.02	4.83	5.56
0100063	-3.86	-3.20	-2.51	-1.65	0.0	5.56	7.36	8.35	9.17
0100064	-6.18	-5.16	-3.91	-2.37	0.0	5.74	7.56	8.87	10.08
0100066	-5.16	-4.20	-3.14	-1.82	0.0	10.51	12.84	14.53	15.88
0100067	-7.87	-6.33	-4.93	-3.30	0.0	7.25	9.18	10.74	12.34
0100068	-5.87	-4.79	-3.68	-2.30	0.0	3.66	5.26	6.47	7.79
0100071	-4.46	-3.67	-2.78	-1.73	0.0	4.04	5.59	6.58	7.58
0100072	-7.53	-5.96	-4.25	-2.62	0.0	8.02	10.19	11.83	13.35
0100074	-3.43	-2.77	-2.03	-1.19	0.0	6.73	9.50	10.77	11.77
0100076	-6.90	-5.56	-4.05	-2.33	0.0	2.36	3.87	5.08	6.07
0100077	-6.14	-4.87	-3.51	-2.01	0.0	3.95	6.39	7.84	8.95
0100078	-5.72	-4.38	-3.34	-2.11	0.0	5.05	6.60	8.48	11.17
0100079	-7.22	-6.19	-4.62	-2.90	0.0	5.84	7.52	8.72	9.74
0100080	-3.41	-2.52	-1.72	-0.96	0.0	0.41	1.03	1.87	3.00
0100081	-4.72	-3.55	-2.55	-1.61	0.0	3.53	5.44	6.67	7.86
0100082	-7.01	-5.88	-4.71	-3.29	0.0	5.72	7.05	8.08	9.10
0100083	-12.79	-7.77	-5.51	-3.56	0.0	4.66	5.99	7.26	9.28
0100084	-5.76	-4.91	-3.90	-2.69	0.0	2.72	4.11	4.99	5.87
0100085	-4.27	-3.12	-2.03	-1.05	0.0	0.66	1.41	2.28	3.26
0100086	-5.30	-4.51	-3.66	-2.33	0.0	1.88	2.82	3.72	4.54

◎ 가쪽굽힘 시험

<표 10> L2/3 가쪽굽힘 시험 결과 (단위 : 도)

ID	Lateral bending (Right)					Lateral bending (Left)			
	-8Nm	-6Nm	-4Nm	-2Nm	0Nm	+2Nm	+4Nm	+6Nm	+8Nm
0100037	-6.30	-5.46	-4.28	-2.97	0.0	3.36	4.68	5.80	6.68
0100039	-7.52	-5.91	-4.33	-2.51	0.0	1.47	2.66	3.89	5.32
0100040	-9.19	-6.86	-5.43	-3.82	0.0	2.68	4.15	5.46	7.33
0100041	-3.99	-3.19	-2.40	-1.44	0.0	1.40	2.33	3.10	3.85
0100042	-4.12	-3.27	-2.45	-1.58	0.0	1.32	2.16	3.04	4.00
0100043	-3.50	-2.60	-1.65	-0.73	0.0	0.97	1.67	2.33	2.98
0100045	-6.33	-5.00	-3.59	-2.26	0.0	1.74	3.28	4.28	5.18
0100048	-7.75	-5.92	-4.32	-2.58	0.0	2.71	4.18	5.55	7.39
0100049	-6.05	-4.97	-3.99	-2.70	0.0	3.01	4.40	5.63	7.06
0100050	-7.29	-5.88	-4.35	-2.69	0.0	3.01	4.61	6.10	7.69
0100052	-5.73	-4.64	-3.45	-2.22	0.0	1.29	2.21	3.06	4.00
0100054	-5.00	-4.08	-3.03	-1.80	0.0	1.59	2.69	3.69	4.56
0100055	-9.47	-7.65	-5.62	-3.54	0.0	4.29	6.04	7.72	9.61
0100056	-8.48	-7.14	-5.78	-4.33	0.0	3.02	4.74	6.17	7.57
0100057	-6.36	-5.41	-4.36	-2.82	0.0	2.11	3.46	4.50	5.37
0100058	-6.01	-5.15	-4.09	-2.74	0.0	2.46	3.95	5.11	6.24
0100059	-6.43	-5.59	-4.54	-3.07	0.0	1.74	3.16	4.25	5.04
0100060	-3.02	-2.26	-1.22	-0.79	0.0	0.78	1.55	2.24	2.90
0100062	-3.61	-2.79	-2.03	-1.17	0.0	1.12	2.04	2.84	3.61
0100063	-4.06	-3.11	-2.27	-1.34	0.0	1.10	1.99	3.04	4.09
0100064	-7.74	-6.32	-4.98	-3.29	0.0	3.21	5.08	6.80	8.54
0100065	-5.33	-4.13	-2.97	-1.74	0.0	1.48	2.65	3.76	4.93
0100066	-7.46	-5.86	-4.49	-2.92	0.0	3.75	5.45	6.81	8.08
0100067	-5.26	-4.40	-3.48	-2.33	0.0	2.51	3.88	4.94	5.99
0100068	-7.40	-6.11	-4.28	-2.40	0.0	1.78	3.10	4.92	7.30
0100069	-11.43	-9.04	-6.88	-4.63	0.0	5.88	10.05	15.19	18.22
0100070	-3.25	-2.46	-1.68	-0.91	0.0	1.56	2.60	3.46	4.36
0100071	-8.18	-6.83	-5.51	-3.91	0.0	4.20	5.99	7.34	8.95
0100073	-4.91	-3.92	-2.84	-1.66	0.0	2.05	3.20	4.22	5.19
0100075	-6.38	-4.71	-3.50	-2.13	0.0	2.48	4.04	5.43	6.77
0100076	-7.74	-6.32	-4.86	-3.21	0.0	4.25	6.55	8.31	10.02
0100077	-6.48	-5.29	-3.94	-2.28	0.0	2.61	4.59	6.29	8.23
0100078	-7.27	-6.07	-4.80	-3.21	0.0	3.44	5.39	6.85	8.17

0100079	-4.84	-3.87	-2.82	-1.69	0.0	1.94	3.23	4.23	5.20
0100080	-7.66	-6.19	-4.84	-3.32	0.0	4.12	6.00	7.69	9.45
0100081	-4.44	-3.67	-2.81	-1.78	0.0	2.62	4.03	5.03	5.93
0100082	-5.48	-4.73	-3.88	-2.78	0.0	2.24	3.75	5.08	6.66
0100083	-5.83	-4.59	-3.32	-1.89	0.0	2.65	4.42	5.76	6.95
0100085	-5.02	-3.93	-2.87	-1.78	0.0	3.60	5.03	6.26	7.59
0100086	-4.10	-3.19	-2.34	-1.35	0.0	1.50	2.50	3.38	4.31

<표 11> L4/5 가쪽굽힘 시험 결과 (단위 : 도)

ID	Lateral bending (Right)					Lateral bending (Left)			
	-8Nm	-6Nm	-4Nm	-2Nm	0Nm	+2Nm	+4Nm	+6Nm	+8Nm
0100037	-6.55	-5.70	-4.64	-3.00	0.0	2.89	4.55	6.02	6.95
0100038	-13.38	-12.06	-10.72	-9.13	0.0	7.54	9.08	10.55	11.90
0100039	-6.99	-6.09	-5.16	-3.99	0.0	2.71	3.79	4.75	5.62
0100041	-4.67	-3.74	-2.78	-1.63	0.0	1.63	2.78	3.81	4.79
0100042	-4.43	-3.55	-2.69	-1.71	0.0	1.55	2.52	3.38	4.18
0100043	-1.85	-1.37	-0.89	-0.42	0.0	0.52	1.01	1.59	2.23
0100044	-5.90	-5.00	-4.00	-2.69	0.0	2.91	4.52	5.73	6.85
0100045	-5.90	-4.95	-4.02	-2.82	0.0	2.74	3.81	4.94	5.67
0100046	-7.52	-6.26	-4.97	-3.50	0.0	3.34	4.81	6.14	7.56
0100047	-10.76	-9.40	-7.98	-6.13	0.0	4.72	6.19	7.39	8.54
0100048	-3.96	-2.80	-1.85	-0.85	0.0	0.84	1.68	2.47	3.38
0100049	-4.72	-3.78	-2.88	-1.77	0.0	2.11	3.24	4.32	5.44
0100050	-13.44	-9.80	-7.39	-4.93	0.0	5.96	7.68	9.05	10.33
0100051	-8.94	-7.87	-6.51	-4.33	0.0	3.46	5.23	6.36	7.39
0100052	-8.67	-7.43	-5.98	-3.92	0.0	3.74	5.41	6.56	7.58
0100053	-8.18	-6.76	-5.42	-4.02	0.0	2.17	3.08	3.96	4.81
0100056	-7.21	-6.19	-4.98	-3.23	0.0	3.44	5.04	6.25	7.42
0100057	-5.38	-4.49	-3.51	-2.21	0.0	3.23	4.67	5.95	7.00
0100058	-7.16	-6.25	-5.24	-3.02	0.0	3.09	4.55	5.63	6.65
0100059	-6.59	-5.64	-4.49	-3.08	0.0	1.70	2.84	3.85	4.87
0100060	-5.17	-4.25	-3.20	-1.90	0.0	1.27	2.23	3.14	4.00
0100061	-7.28	-6.41	-5.36	-3.91	0.0	4.58	5.69	6.50	7.20
0100062	-3.89	-3.25	-2.56	-1.69	0.0	1.51	2.29	2.96	3.63
0100063	-3.84	-3.13	-2.39	-1.58	0.0	1.05	1.86	2.61	3.37
0100064	-7.80	-6.62	-5.37	-3.75	0.0	2.01	3.21	4.27	5.50

0100066	-7.73	-6.47	-5.07	-3.21	0.0	3.10	4.93	6.56	8.01
0100067	-7.30	-5.88	-4.49	-2.87	0.0	2.46	4.08	5.55	7.17
0100068	-7.36	-6.02	-4.61	-2.97	0.0	2.25	3.70	5.03	6.36
0100071	-6.58	-5.50	-4.37	-2.71	0.0	3.12	4.69	5.83	6.91
0100072	-10.76	-8.99	-7.30	-5.43	0.0	4.42	6.32	7.89	9.47
0100074	-5.73	-4.97	-4.10	-2.87	0.0	3.28	4.60	5.55	6.36
0100076	-5.68	-4.57	-3.44	-2.12	0.0	2.49	4.27	5.83	7.45
0100077	-5.36	-4.19	-2.98	-1.55	0.0	2.23	4.04	5.47	6.81
0100078	-5.19	-4.22	-3.24	-2.11	0.0	3.13	4.63	5.88	7.11
0100079	-7.33	-6.40	-5.36	-3.97	0.0	3.97	5.66	6.88	8.00
0100080	-2.12	-1.50	-0.92	-0.41	0.0	0.78	1.45	2.25	3.16
0100081	-5.25	-4.13	-3.02	-1.91	0.0	2.47	3.98	5.60	7.28
0100082	-10.65	-9.24	-7.77	-5.72	0.0	4.57	6.31	7.68	8.98
0100083	-5.19	-4.07	-3.06	-2.02	0.0	3.65	5.09	6.22	8.00
0100084	-7.11	-5.83	-4.56	-3.10	0.0	3.87	5.58	7.02	8.73
0100085	-2.71	-2.00	-1.32	-0.65	0.0	0.81	1.61	2.35	3.04
0100086	-4.94	-3.68	-2.66	-1.60	0.0	1.98	2.98	3.96	5.00

◎ 비틀림 시험

<표 12> L2/3 비틀림 시험 결과 (단위 : 도)

ID	Torsion (Right)					Torsion (Left)			
	-8Nm	-6Nm	-4Nm	-2Nm	0Nm	+2Nm	+4Nm	+6Nm	+8Nm
0100037	-4.05	-3.52	-2.88	-1.99	0.0	2.44	4.55	5.62	6.33
0100039	-2.77	-2.22	-1.62	-0.77	0.0	0.49	1.15	1.72	2.28
0100040	-5.02	-4.04	-3.01	-1.86	0.0	2.25	3.96	5.18	6.27
0100041	-2.30	-1.88	-1.40	-0.80	0.0	0.56	1.08	1.62	2.07
0100042	-2.81	-2.28	-1.71	-1.04	0.0	1.87	2.94	3.71	4.35
0100043	-1.26	-0.89	-0.51	-0.16	0.0	0.18	0.45	0.76	1.09
0100045	-4.32	-3.68	-2.98	-1.87	0.0	0.90	1.76	2.43	3.08
0100048	-3.59	-2.73	-1.93	-1.14	0.0	1.18	2.27	3.27	4.24
0100049	-4.52	-3.72	-2.85	-1.81	0.0	2.10	3.33	4.25	5.18
0100050	-2.50	-1.92	-1.30	-0.61	0.0	0.64	1.36	2.04	2.73
0100052	-3.18	-2.58	-1.95	-1.16	0.0	1.19	2.25	3.06	3.79
0100054	-2.20	-1.71	-1.22	-0.64	0.0	0.41	0.92	1.42	1.93
0100055	-4.13	-3.18	-2.22	-1.27	0.0	1.41	2.69	3.84	4.78
0100056	-2.71	-2.09	-1.43	-0.74	0.0	0.55	1.20	1.90	2.57
0100057	-2.82	-2.29	-1.72	-1.05	0.0	0.84	1.58	2.22	2.82
0100058	-3.03	-2.44	-1.84	-1.08	0.0	1.17	2.18	2.98	3.76
0100059	-3.35	-2.75	-2.08	-1.24	0.0	1.16	2.14	2.90	3.61
0100060	-2.46	-2.00	-1.49	-0.88	0.0	0.87	1.62	2.22	2.78
0100062	-2.04	-1.60	-1.16	-0.67	0.0	0.47	0.92	1.29	1.76
0100063	-2.49	-1.99	-1.47	-0.87	0.0	0.84	1.56	2.21	2.83
0100064	-3.66	-3.06	-2.37	-1.52	0.0	1.51	2.91	3.91	4.47
0100065	-3.35	-2.50	-1.80	-1.05	0.0	1.52	2.70	3.53	4.26
0100066	-3.48	-2.73	-1.98	-1.06	0.0	0.84	2.01	3.03	3.97
0100067	-2.33	-1.78	-1.20	-0.57	0.0	0.55	1.20	1.84	2.44
0100068	-1.71	-1.29	-0.88	-0.41	0.0	0.39	0.82	1.27	1.71
0100069	-4.98	-4.03	-3.00	-1.85	0.0	2.36	4.06	5.35	6.46
0100070	-2.35	-1.84	-1.41	-0.87	0.0	0.92	1.54	2.09	2.59
0100071	-3.80	-3.03	-2.18	-1.29	0.0	1.66	3.24	4.35	5.19
0100073	-3.30	-2.66	-2.02	-1.25	0.0	1.08	2.01	2.71	3.42
0100075	-2.04	-1.54	-1.01	-0.51	0.0	0.38	0.84	1.41	2.03
0100076	-4.73	-3.78	-2.87	-1.83	0.0	2.18	3.86	5.02	6.05
0100077	-2.62	-2.05	-1.46	-0.80	0.0	0.64	1.46	2.23	2.99
0100078	-6.36	-5.55	-4.55	-3.23	0.0	1.68	2.88	3.75	4.56

0100079	-2.14	-1.64	-1.11	-0.52	0.0	0.59	1.27	1.89	2.47
0100080	-2.79	-2.22	-1.67	-1.00	0.0	2.07	3.27	4.17	4.94
0100081	-2.80	-2.24	-1.58	-0.81	0.0	0.76	1.64	2.43	3.21
0100082	-3.56	-2.84	-2.08	-1.16	0.0	0.97	1.86	2.69	3.52
0100083	-2.52	-1.92	-1.28	-0.63	0.0	0.62	1.37	2.06	2.83
0100085	-3.33	-2.59	-1.88	-1.05	0.0	0.73	1.59	2.41	3.47
0100086	-2.77	-2.21	-1.62	-0.92	0.0	0.81	1.49	2.09	2.67

<표 13> L4/5 비틀림 시험 결과 (단위 : 도)

ID	Torsion (Right)					Torsion (Left)			
	-8Nm	-6Nm	-4Nm	-2Nm	0Nm	+2Nm	+4Nm	+6Nm	+8Nm
0100037	-3.61	-3.02	-2.36	-1.56	0.0	1.84	3.32	4.34	5.16
0100038	-2.77	-2.25	-1.70	-1.05	0.0	1.23	2.35	3.26	3.94
0100039	-4.01	-3.45	-2.77	-1.87	0.0	2.81	4.17	5.01	5.68
0100041	-2.71	-2.13	-1.56	-0.87	0.0	0.83	1.71	2.28	2.82
0100042	-2.28	-1.85	-1.36	-0.80	0.0	1.02	1.84	2.46	3.03
0100043	-0.84	-0.57	-0.34	-0.13	0.0	0.15	0.38	0.55	0.76
0100044	-2.50	-1.97	-1.45	-0.86	0.0	1.13	2.06	2.80	3.54
0100045	-2.33	-1.82	-1.19	-0.60	0.0	0.67	1.34	1.95	2.51
0100046	-2.84	-2.08	-1.26	-0.60	0.0	0.54	1.30	2.10	2.85
0100047	-4.90	-4.02	-3.12	-2.10	0.0	1.90	3.16	4.32	5.40
0100048	-1.60	-1.13	-0.67	-0.32	0.0	0.22	0.57	1.01	1.37
0100049	-2.42	-1.86	-1.27	-0.67	0.0	0.86	1.55	2.09	2.62
0100050	-4.11	-3.27	-2.39	-1.44	0.0	2.01	3.42	4.49	5.40
0100051	-3.46	-2.82	-2.08	-1.14	0.0	1.24	2.25	3.07	3.76
0100052	-4.48	-3.65	-2.71	-1.62	0.0	1.68	3.06	4.13	5.02
0100053	-3.24	-2.56	-1.85	-1.09	0.0	3.59	4.89	5.81	6.60
0100056	-2.34	-1.87	-1.33	-0.74	0.0	0.94	1.71	2.44	3.14
0100057	-2.56	-2.05	-1.46	-0.78	0.0	0.82	1.55	2.27	2.92
0100058	-2.58	-2.03	-1.46	-0.80	0.0	0.78	1.69	2.42	3.18
0100059	-3.43	-2.79	-2.10	-1.18	0.0	1.34	2.60	3.55	4.30
0100060	-2.78	-2.26	-1.74	-1.09	0.0	1.24	2.19	2.95	3.63
0100061	-2.71	-2.15	-1.62	-0.96	0.0	1.50	2.58	3.37	4.06
0100062	-1.70	-1.38	-1.00	-0.55	0.0	0.61	1.03	1.42	1.85
0100063	-2.58	-2.10	-1.62	-0.86	0.0	1.46	2.27	2.90	3.45
0100064	-2.52	-2.01	-1.48	-0.81	0.0	1.13	2.14	3.04	3.84
0100066	-3.61	-2.84	-2.04	-1.18	0.0	1.31	2.55	3.61	4.47
0100067	-3.69	-2.77	-1.87	-1.03	0.0	0.88	1.81	2.65	3.52
0100068	-2.01	-1.54	-1.05	-0.54	0.0	0.52	1.04	1.64	2.17
0100071	-2.98	-2.31	-1.62	-0.90	0.0	0.90	1.89	2.68	3.22
0100072	-4.75	-3.78	-2.72	-1.61	0.0	3.02	4.48	5.45	6.32
0100074	-2.53	-2.11	-1.59	-0.96	0.0	0.99	1.65	2.16	2.63
0100076	-3.45	-2.69	-1.93	-1.03	0.0	0.80	1.82	2.82	3.72
0100077	-2.96	-2.32	-1.65	-0.90	0.0	0.70	1.39	2.11	2.80
0100078	-4.16	-3.48	-2.76	-1.83	0.0	1.33	2.38	3.17	3.87

0100079	-3.40	-2.86	-2.27	-1.51	0.0	0.83	1.60	2.29	2.93
0100080	-1.42	-1.00	-0.60	-0.23	0.0	0.11	0.42	0.68	0.97
0100081	-2.50	-1.93	-1.35	-0.65	0.0	0.67	1.40	2.08	2.80
0100082	-6.88	-5.93	-4.92	-3.43	0.0	1.23	2.24	3.12	3.90
0100083	-3.99	-3.26	-2.49	-1.60	0.0	1.16	2.24	3.21	4.05
0100084	-3.76	-3.05	-2.28	-1.35	0.0	1.30	2.41	3.30	4.09
0100085	-2.30	-1.70	-1.09	-0.54	0.0	0.40	0.94	1.56	2.32
0100086	-2.55	-2.04	-1.51	-0.85	0.0	0.71	1.41	2.09	2.80

(7) 시험 결과 분석

◎ 척추사이원반 퇴행성 등급 합산

- 시험대상 표본의 대부분이 Height loss와 Osteophyte formation을 동시에 보유
- 시험대상표본의 제한된 수량으로 각 항목의 영향을 독립적으로 평가 곤란
- 척추관절의 움직임에 Height loss와 Osteophyte formation의 상호작용 예상
- Height loss와 Osteophyte formation 점수를 평균하여 아래와 같이 산정

<표 14> 퇴행성 등급의 합산법

Averaged Grade	Final Grade	comment
0.5이하	Grade 0	normal or slightly degenerative change
1	Grade 1	mild degenerative change
1.5	Grade 2	moderate degenerative change
2.0 이상	Grade 3	severe degenerative change

- 위 등급 산정은 객관성을 확보하며(Diffuse sclerosis 제외) 퇴행성 정도를 종합적으로 판단하기 위해 이 연구에서 제한한 것이며, 사용자는 이 연구에서 인용한 Wilke 등의 방법을 사용할 수 있음

<표 15> 시험대상표본의 퇴행성 등급 합산 판정

ID	Sex	Age	L2/3			L4/5		
			HL	OS	F. Grd	HL	OS	F. Grd
0100037	M	77	0	2	1	1	1	1
0100038	M	47				0	0	0
0100039	M	91	1	2	2	3	2	3
0100040	F	94	1	1	1			
0100041	M	70	1	2	2	1	1	1

ID	Sex	Age	L2/3			L4/5		
			HL	OS	F. Grd	HL	OS	F. Grd
0100042	M	90	3	2	3	1	1	1
0100043	M	76	3	3	3	1	2	2
0100044	F	67				1	1	1
0100045	M	58	2	2	3	0	1	0
0100046	M	59				0	0	0
0100047	F	73				0	1	0
0100048	F	86	2	1	2	2	1	2
0100049	M	84	1	3	3	1	1	1
0100050	F	66	0	1	0	0	1	0
0100051	F	81				0	2	1
0100052	M	71	2	2	3	2	1	2
0100053	F	89				3	3	3
0100054	M	64	1	1	1			
0100055	F	85	0	1	0			
0100056	M	49	0	0	0	1	1	1
0100057	M	74	1	2	2	0	3	2
0100058	M	54	0	1	0	1	1	1
0100059	M	75	0	2	1	0	3	2
0100060	M	79	2	3	3	2	3	3
0100061	M	64				0	0	0
0100062	M	77	3	2	3	2	2	3
0100063	M	72	2	3	3	1	3	3
0100064	M	70	0	1	0	3	0	2
0100065	M	75	3	1	3			
0100066	F	61	2	0	1	1	1	1
0100067	F	60	3	0	2	0	0	0

ID	Sex	Age	L2/3			L4/5		
			HL	OS	F. Grd	HL	OS	F. Grd
0100068	M	72	1	2	2	0	2	1
0100069	F	69	0	1	0			
0100070	M	76	2	3	3			
0100071	M	71	1	1	1	0	1	0
0100072	F	83				2	0	1
0100073	M	67	2	3	3			
0100074	M	52				0	0	0
0100075	M	67	1	0	0			
0100076	F	66	1	1	1	0	1	0
0100077	F	63	0	1	0	0	1	0
0100078	M	84	0	1	0	2	2	3
0100079	M	70	2	2	3	0	1	0
0100080	M	84	1	2	2	3	2	3
0100081	M	77	0	0	0	1	1	1
0100082	F	83	2	2	3	2	2	3
0100083	F	74	0	1	0	1	1	1
0100084	M	85				3	1	3
0100085	F	93	0	1	0	2	1	2
0100086	F	80	3	3	3	3	3	3

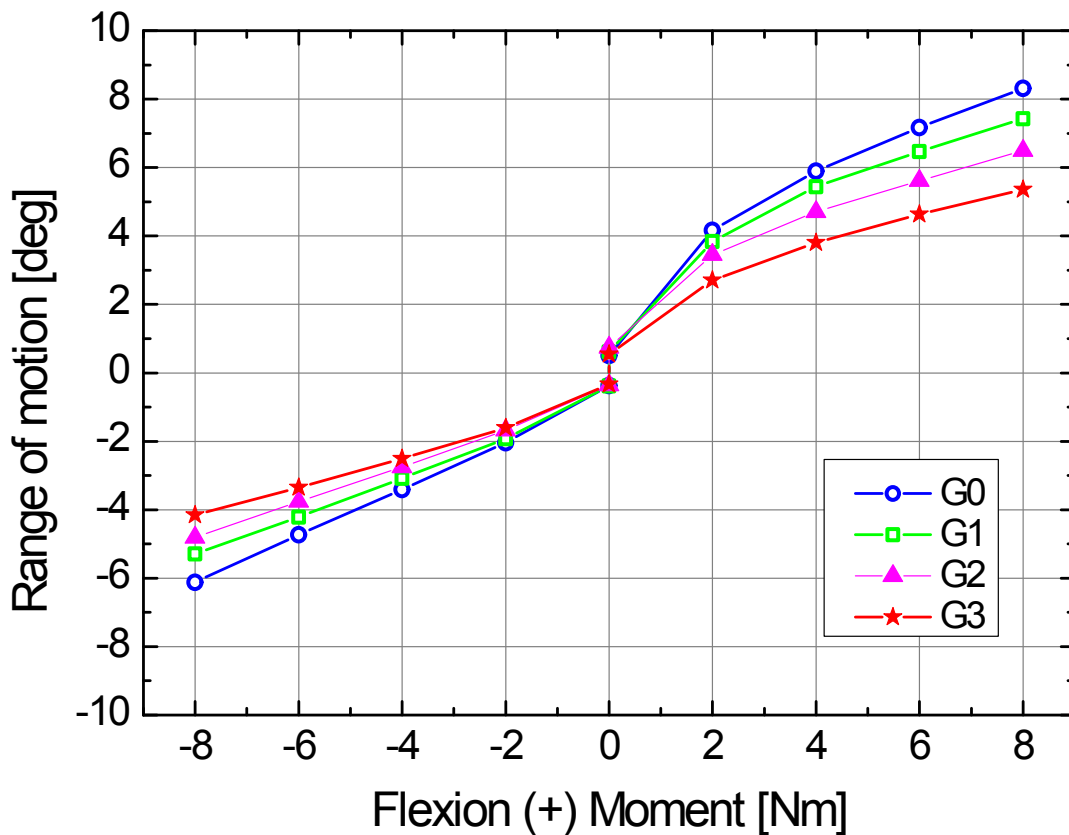
HL : disk height loss, OS : osteophyte formation, F.Grđ : final grade of degenerative change

© 척추사이원반 퇴행성 등급별 움직임 특성 분석

<표 16> L2/3 굽힘 / 폼 시험 결과 분석 (평균±표준편차, 단위 : 도)

motion	moment [Nm]	Grade 0		Grade 1		Grade 2		Grade 3	
		Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.
Extension	-8	-6.12	2.83	-5.29	1.31	-4.80	0.82	-4.15	0.85
	-6	-4.73	2.02	-4.21	1.04	-3.76	0.57	-3.35	0.76
	-4	-3.41	1.37	-3.08	0.77	-2.75	0.41	-2.51	0.65
	-2	-2.04	0.81	-1.93	0.62	-1.67	0.29	-1.61	0.50
	NZ-	-0.37	0.20	-0.38	0.16	-0.36	0.06	-0.34	0.14
Flexion	NZ+	0.51	0.27	0.62	0.48	0.74	0.64	0.54	0.44
	2	4.16	1.85	3.83	0.44	3.45	1.61	2.71	1.32
	4	5.90	2.04	5.44	0.50	4.70	1.69	3.81	1.65
	6	7.17	2.08	6.47	0.58	5.62	1.69	4.63	1.80
	8	8.32	2.22	7.43	0.71	6.50	1.64	5.36	1.90

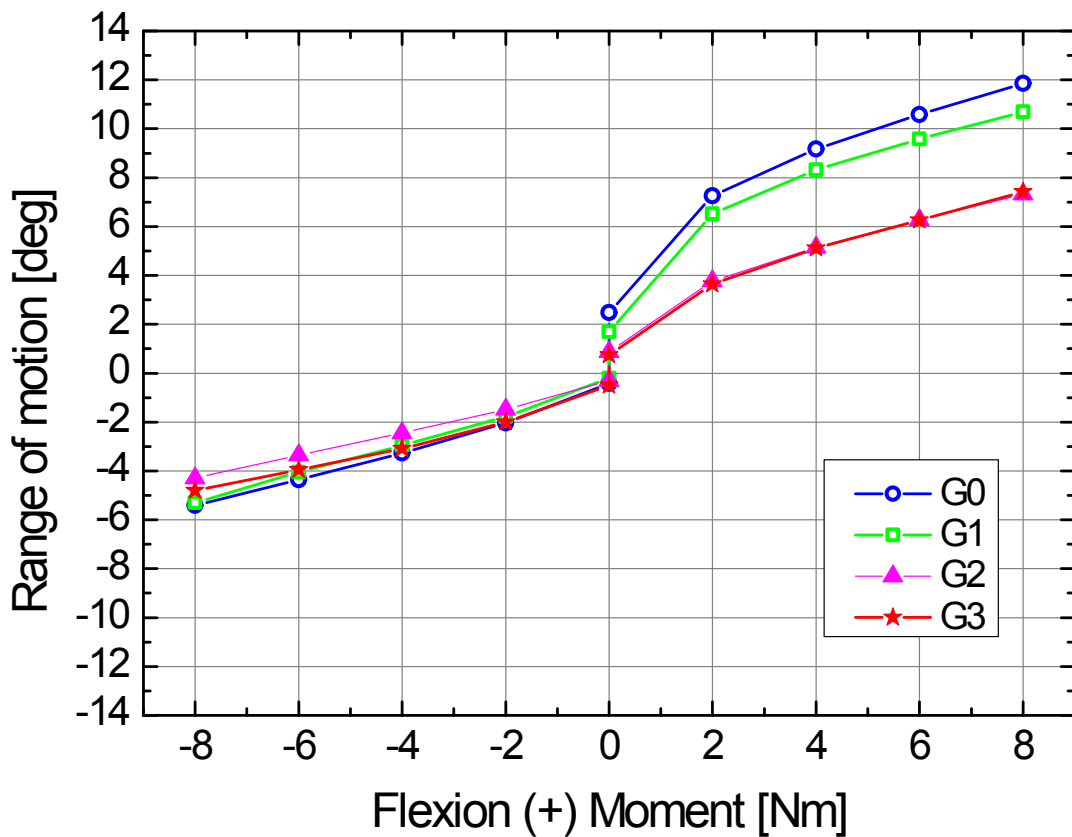
<그림 10> L2/3 굽힘 / 폼 시험 결과



<표 17> L4/5 굽힘 / 폼 시험 결과 분석 (평균±표준편차, 단위 : 도)

motion	moment [Nm]	Grade 0		Grade 1		Grade 2		Grade 3	
		Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.
Extension	-8	-5.41	1.74	-5.29	2.64	-4.30	1.39	-4.81	1.22
	-6	-4.35	1.40	-4.04	1.63	-3.34	1.36	-3.96	1.08
	-4	-3.27	1.09	-2.96	1.28	-2.45	1.14	-3.08	0.94
	-2	-2.03	0.71	-1.78	1.01	-1.48	0.81	-2.01	0.71
	NZ-	-0.42	0.20	-0.20	0.75	-0.31	0.31	-0.50	0.25
Flexion	NZ+	2.48	2.91	1.69	2.23	0.87	1.00	0.74	0.56
	2	7.26	3.61	6.52	2.79	3.77	3.12	3.64	1.76
	4	9.18	3.70	8.33	3.05	5.15	3.79	5.12	2.12
	6	10.58	3.91	9.58	3.16	6.27	4.20	6.26	2.35
	8	11.85	4.16	10.69	3.16	7.32	4.43	7.42	2.61

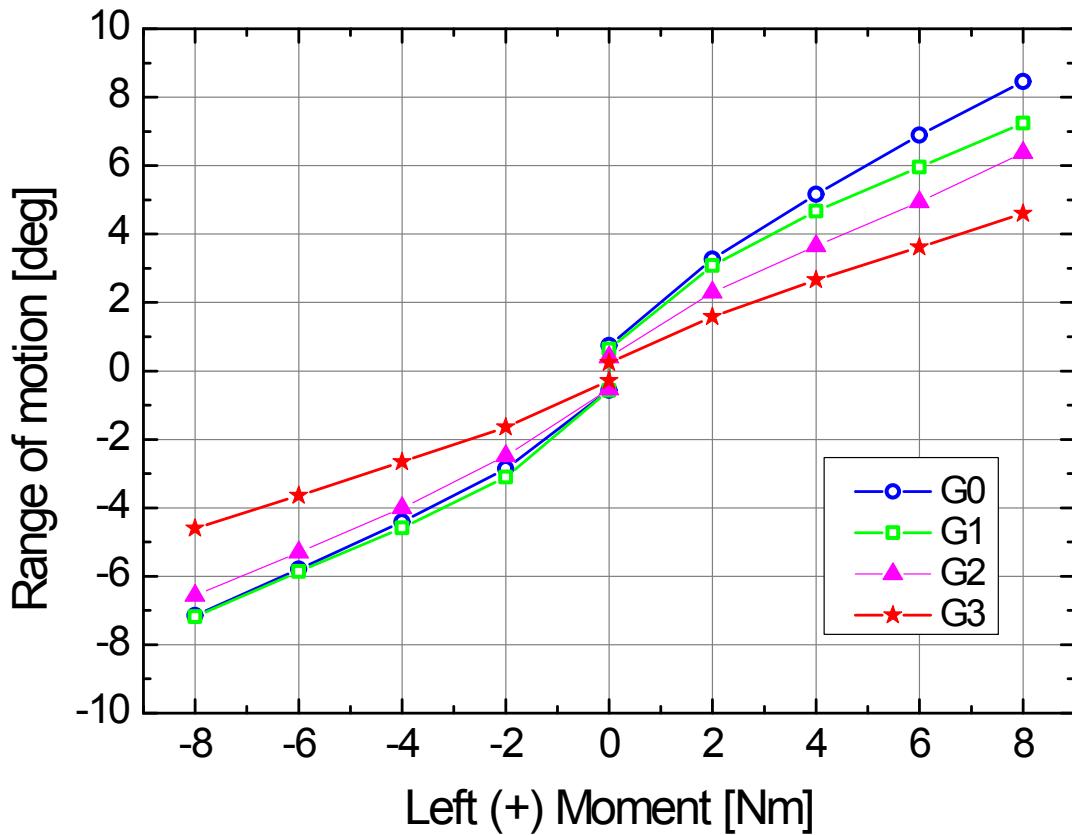
<그림 11> L4/5 굽힘 / 폼 시험 결과



<표 18> L2/3 가쪽굽힘 시험 결과 분석 (평균±표준편차, 단위 : 도)

motion	moment [Nm]	Grade 0		Grade 1		Grade 2		Grade 3	
		Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.
Right Lateral bending	-8	-7.15	1.95	-7.19	1.39	-6.56	1.45	-4.60	1.08
	-6	-5.79	1.58	-5.86	0.96	-5.30	1.12	-3.64	0.96
	-4	-4.41	1.25	-4.59	0.83	-4.00	0.81	-2.66	0.86
	-2	-2.86	0.97	-3.10	0.70	-2.49	0.57	-1.64	0.66
	NZ-	-0.57	0.47	-0.57	0.22	-0.53	0.20	-0.29	0.17
Left Lateral bending	NZ+	0.75	0.66	0.64	0.29	0.41	0.14	0.24	0.10
	2	3.27	0.98	3.08	1.11	2.30	0.94	1.58	0.59
	4	5.16	1.65	4.67	1.44	3.66	1.22	2.66	0.82
	6	6.89	2.72	5.95	1.66	4.94	1.45	3.61	0.98
	8	8.46	3.24	7.24	1.99	6.38	1.83	4.61	1.21

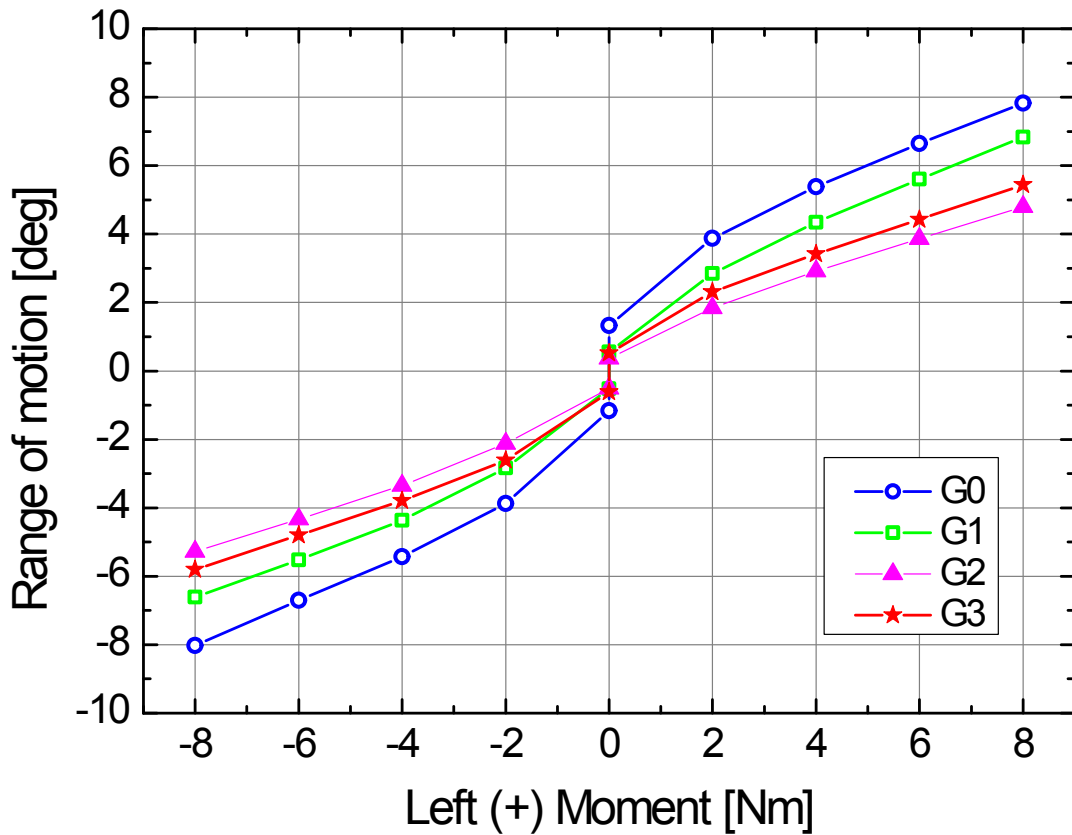
<그림 12> L2/3 가쪽굽힘 시험 결과



<표 19> L4/5 가쪽굽힘 시험 결과 분석 (평균±표준편차, 단위 : 도)

motion	moment [Nm]	Grade 0		Grade 1		Grade 2		Grade 3	
		Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.
Right Lateral bending	-8	-8.02	2.89	-6.61	1.86	-5.28	2.57	-5.81	2.47
	-6	-6.70	2.43	-5.52	1.69	-4.34	2.35	-4.80	2.22
	-4	-5.43	2.22	-4.37	1.48	-3.34	2.03	-3.79	1.96
	-2	-3.88	2.07	-2.84	1.11	-2.13	1.50	-2.61	1.58
	NZ-	-1.16	1.38	-0.51	0.24	-0.51	0.47	-0.61	0.65
Left Lateral bending	NZ+	1.32	1.24	0.56	0.28	0.37	0.31	0.52	0.34
	2	3.87	1.60	2.84	0.83	1.84	1.25	2.30	1.25
	4	5.38	1.61	4.34	1.07	2.92	1.65	3.42	1.63
	6	6.64	1.65	5.60	1.22	3.86	1.88	4.42	1.88
	8	7.83	1.73	6.83	1.41	4.80	2.03	5.44	2.15

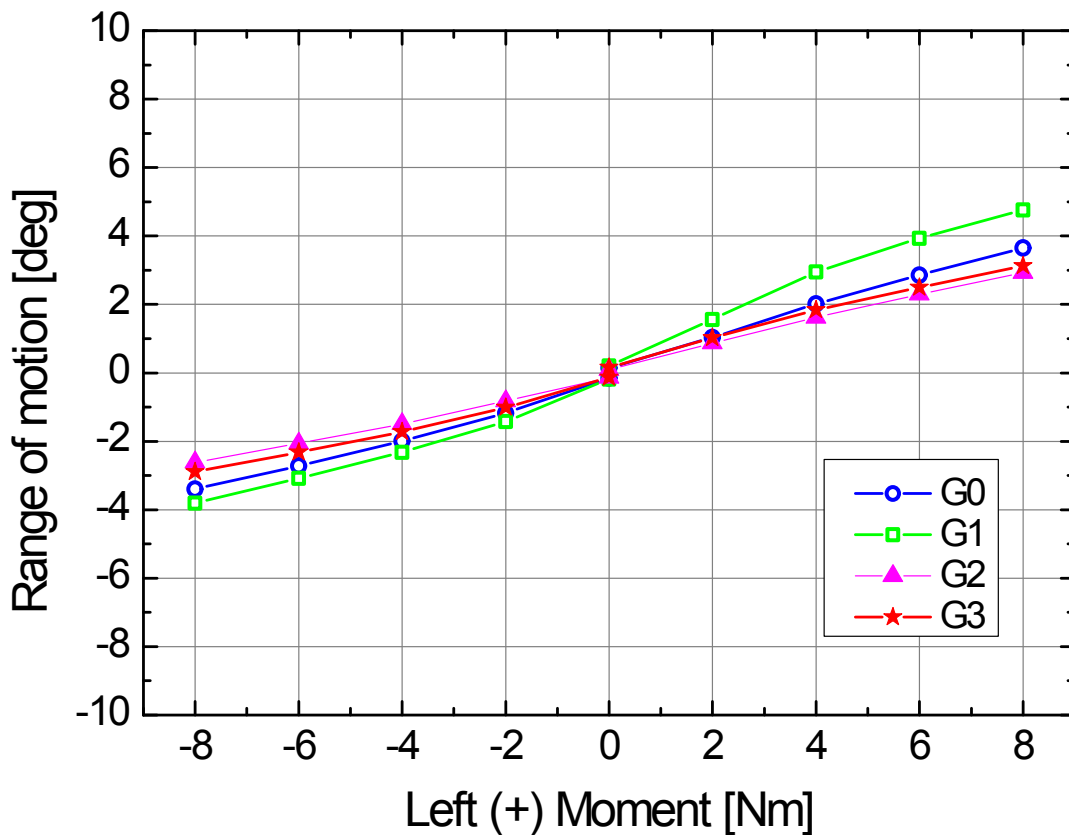
<그림 13> L4/5 가쪽굽힘 시험 결과



<표 20> L2/3 비틀림 시험 결과 분석 (평균±표준편차, 단위 : 도)

motion	moment [Nm]	Grade 0		Grade 1		Grade 2		Grade 3	
		Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.
Right Lateral bending	-8	-3.39	1.24	-3.80	0.94	-2.62	0.58	-2.90	0.89
	-6	-2.72	1.12	-3.08	0.79	-2.06	0.46	-2.32	0.77
	-4	-1.99	0.98	-2.32	0.64	-1.49	0.36	-1.73	0.65
	-2	-1.18	0.76	-1.42	0.50	-0.82	0.26	-1.02	0.45
	NZ-	-0.14	0.10	-0.18	0.12	-0.13	0.09	-0.14	0.06
Left Lateral bending	NZ+	0.15	0.12	0.21	0.11	0.09	0.06	0.15	0.08
	2	1.04	0.59	1.56	0.78	0.87	0.59	1.02	0.52
	4	2.01	0.94	2.95	1.30	1.62	0.86	1.84	0.78
	6	2.86	1.14	3.93	1.52	2.30	1.04	2.49	0.93
	8	3.66	1.23	4.76	1.66	2.93	1.20	3.13	1.07

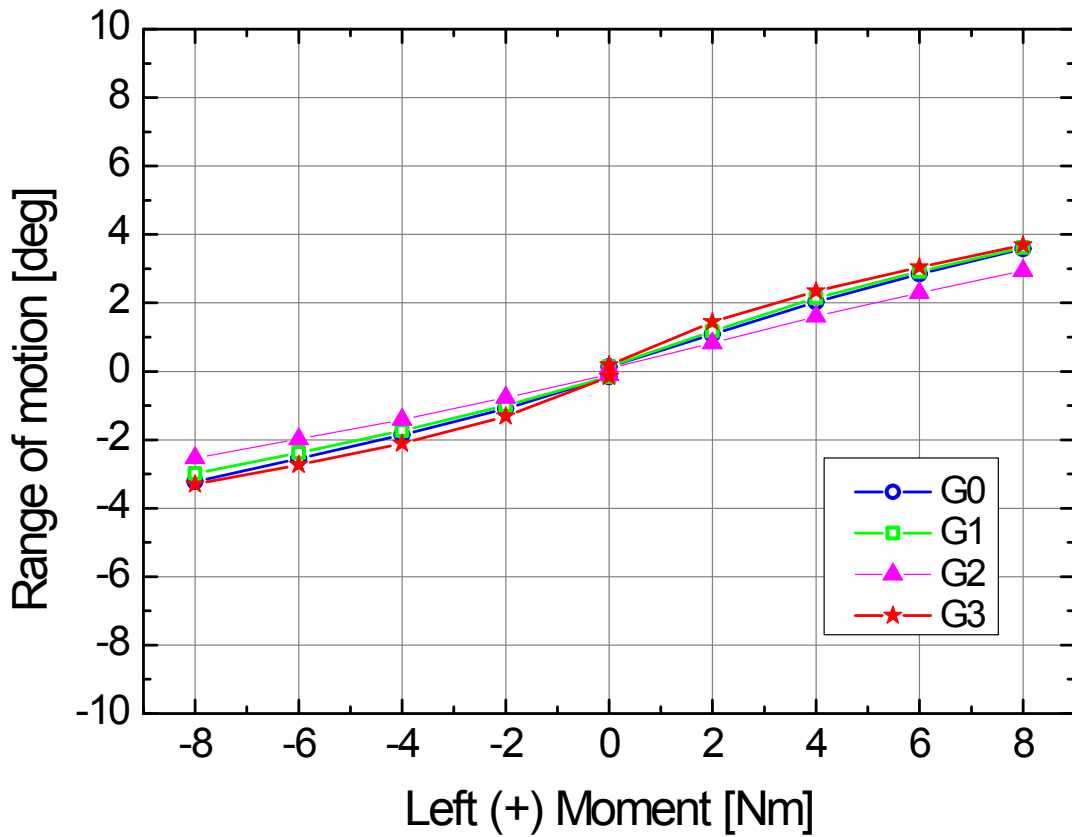
<그림 14> L2/3 비틀림 시험 결과



<표 21> L4/5 비틀림 시험 결과 분석 (평균±표준편차, 단위 : 도)

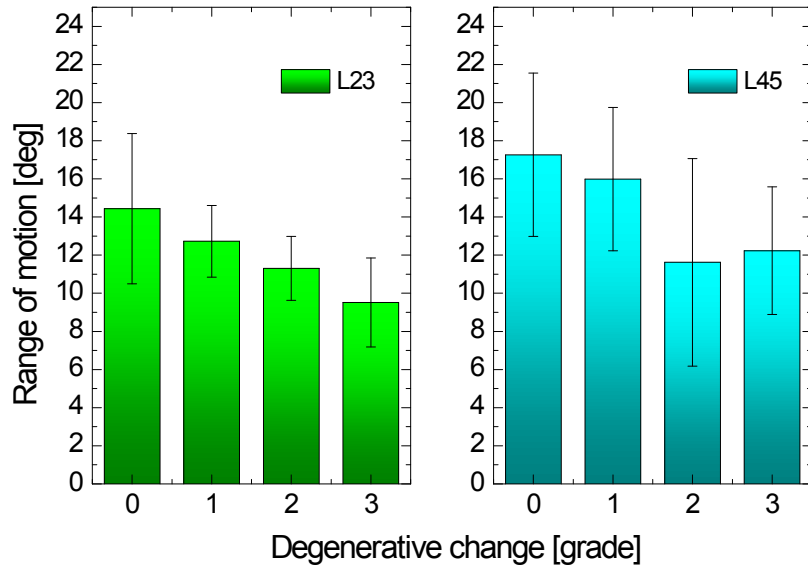
motion	moment [Nm]	Grade 0		Grade 1		Grade 2		Grade 3	
		Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.	Aver.	S.D.
Right Lateral bending	-8	-3.22	0.73	-2.98	0.82	-2.53	1.18	-3.31	1.55
	-6	-2.55	0.61	-2.38	0.68	-1.99	1.02	-2.73	1.39
	-4	-1.85	0.53	-1.73	0.54	-1.41	0.81	-2.11	1.21
	-2	-1.09	0.42	-1.00	0.38	-0.77	0.51	-1.32	0.90
	NZ-	-0.16	0.10	-0.16	0.08	-0.10	0.07	-0.16	0.10
Left Lateral bending	NZ+	0.14	0.08	0.14	0.10	0.09	0.07	0.19	0.10
	2	1.08	0.48	1.18	0.65	0.82	0.59	1.44	1.03
	4	2.03	0.71	2.14	0.91	1.61	1.03	2.34	1.34
	6	2.85	0.86	2.91	1.05	2.30	1.34	3.04	1.52
	8	3.58	0.99	3.62	1.15	2.93	1.56	3.68	1.64

<그림 15> L4/5 비틀림 시험 결과

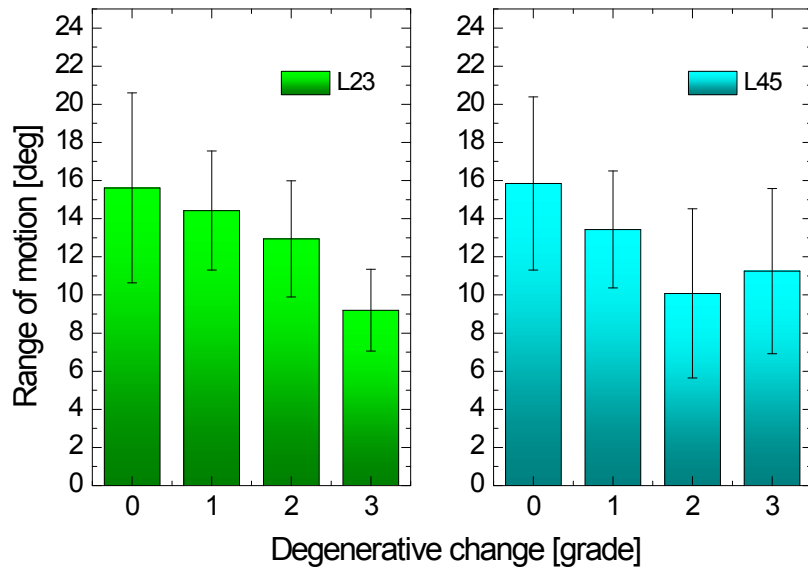


<그림 16> 척추사이원반 퇴행성 등급별 관절 가동 범위

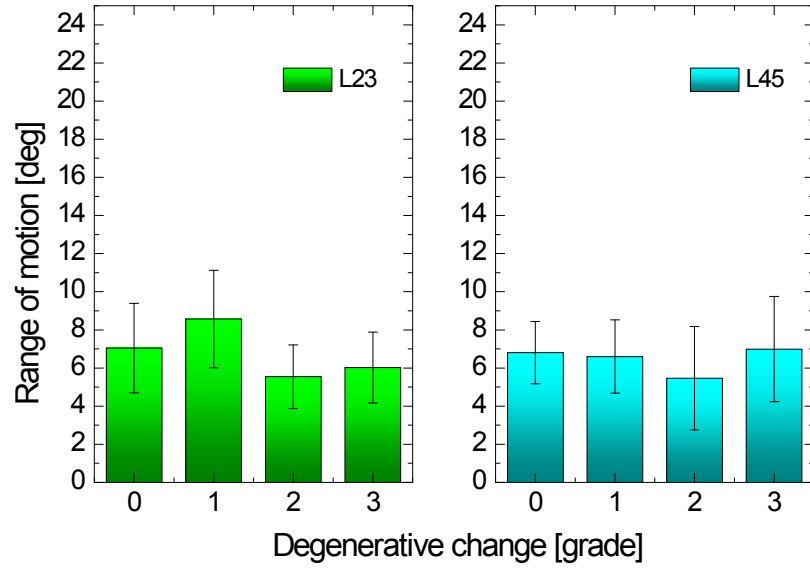
A. Flexion / extension (loading +/- 8Nm)



B. Lateral bending (loading +/- 8Nm)



C. Torsion (loading +/- 8Nm)



7. 참고문헌

- (1) Wilke HJ, Rohlmann F, Neidlinger-Wilke C, Werner K, Claes L, Kettler A. "Validity and interobserver agreement of a new radiographic grading system for intervertebral disc degeneration: Part I. Lumbar spine." *Eur Spine J.* 2006 Jun;15(6):720-730
- (2) Frobin W, Brinckmann P, Biggemann M, Tillotson M, Burton K. "Precision measurement of disc height, vertebral height and sagittal plane displacement from lateral radiographic views of the lumbar spine." *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1997;12 Suppl 1:S1-S63
- (3) Crawford NR, Brantley AG, Dickman CA, Koeneman EJ. "An apparatus for applying pure nonconstraining moments to spine segments in vitro." *Spine (Phila Pa 1976).* 1995 Oct 1;20(19):2097-2100.
- (4) Tang JA, Scheer JK, Ames CP, Buckley JM. "Pure moment testing for spinal biomechanics applications: fixed versus 3D floating ring cable-driven test designs." *J Biomech.* 2012 Feb 23;45(4):706-710.
- (5) Yamamoto I, Panjabi MM, Crisco T, Oxland T. "Three-dimensional movements of the whole lumbar spine and lumbosacral joint." *Spine.* 1989 Nov;14(11):1256-60.
- (6) Kettler A, Rohlmann F, Ring C, Mack C, Wilke HJ. "Do early stages of lumbar intervertebral disc degeneration really cause instability? Evaluation of an in vitro database." *Eur Spine J.* 2011 Apr;20(4):578-584
- (7) 곽대순, 박수안, 한승호 외, 인체 척추 영상/물성 정보 제작 방법, 한국과학기술정보연구원, 2010