

쪼그려 앉은 자세에서의 최대 악력에 관한 연구

A Study of Maximum Grip Strength on the Squatted Postures.

김대성, 김종인, 양성환, 박 범

아주대학교 기계 및 산업공학부

Abstract

근골격계 질환은 부적절한 작업 자세, 중량물의 무리한 취급, 과도한 작업 부하 등과 같은 작업 환경에서 기인한다. 현장의 대부분의 공구사용작업에 있어서, 쪼그려 앉아서 작업하는 경우가 매우 빈번하게 발생한다. 본 연구에서는 쪼그려 앉은 자세에서 사용하는 공구를 설계하는데 필요 요소인 악력의 최대치를 조사하는 것을 목적으로 한다. 23세-29세의 남자 8명을 피실험자로 실험하였다. 실험모델로는 쪼그려 앉기에서 1) 0° 외전된 어깨와 정위치의 손목에서 어깨 굴곡이 180°, 135°, 90° 와 45° 의 조합된 자세에서의 악력, 2) 0° 외전된 어깨와 정위치의 손목에서 팔꿈치 굴곡이 135°, 90° 와 45° 조합된 자세에서의 악력을 조사했다. 조사결과 쪼그려 앉은 자세에서 어깨굴곡이 45° 인 자세에서 최대의 악력이 발휘되는 것으로 나타났으며, 인체부위 중에서 손너비, 손목둘레, 팔길이, 손두께, 팔꿈치-손목까지의 길이 등이 쪼그려 앉은 자세와 깊은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

1. 서론

매우 급속도로 기술은 발달해 왔고, 근로자에 대한 재해 발생 빈도도 점점더 줄어들지만, 중대 재해에 대한 비율은 점점 증가하고 있다. 이는 다른 나라와 비교해서도 상당히 높은 편이다[1]. 현재 우리나라의 재해의 대부분은 손, 발 부위에서 발생하고 있다. 특히, 근골격 질환의 비율이 점점 증가하고 있다는 것은 어찌면 당연한 결과이다. Labar의 통계에 의하면 1990년에 MMH(Manual Materials Handling)작업에 종사하고 있는 약 1900만 명의 작업자가 근골격계 질환(Musculoskeletal Injury)으로 작업을 제대로 수행하기 어려우며, 직접, 간접비용을 산출하면 무려 1000억 달러에 이르는 것으로 밝혀졌다. 근골격계 질환이라는 것은 작업 방법, 작업 자세에 따라 과부하가 근골격계에 발생하는 것으로 요통(Back Pain)과 누적외상병(Cumulative Trauma Disorders, CTDs) 등이 이에 해당되며, 이는 작업자의 안전과 사회적인 문제가 되고 있다. 이런 질환의 발생은 작업자의 순간적인 실수 혹은 사고에 기인하기보다는 작업 방법 및 작업환경 등의 잘못된 설계로 인한 부적절한 작업자세, 과도한 작업부하량 할당 및 중량물의 무리한 취급 등과 같은 구조적 원인에 의해 만성적으로 누적되어 온 상해의 결과로 나타나는 경우가 대

부분이다. 근골격계 통증과 부적절한 작업자세와의 연관관계는 많은 연구결과에서 보고되고 있다[5].

근골격계 질환 중 요통은 미국에서 두통 다음으로 많은 사람이 병원을 찾는 질병으로 보고되며, 이는 개인적인 단순한 기능상의 문제로 끝나는 것이 아니라 경제적인 측면에서 막대한 손실을 발생시킨다[3]. 1992년에는 작업 도중 어떤 원인으로 요통을 경험하고 있는 사람이 약 80%이고, 1년동안 어떤 원인으로 인해 허리를 손상한 경우가 작업 인구의 11%이며, 요통 중 Lifting에 의한 것이 약 50%를 차지한다고 알려져 있다.

대부분의 제조업체에서는 선자세와 앉은자세에서 작업이 이루어진다. 선자세는 주로 조립작업에서, 앉은자세는 조선산업, 금형산업 등에서 나타난다. 특히, 쪼그려 앉은작업자세는 작업의 특성상 오랜 기간 동안 반복적으로 같은 자세를 지속하게 되며, 중량물 취급 등의 작업에 비해 순간적인 인체역학적 작업 부하량은 크지 않더라도 장기간 지속함으로 인해 작업자의 근골격계에 나쁜 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다. 즉, 특정한 신체적 혹은 생리적 결함이 없는 건강한 사람이라도 정적자세(Static Posture)를 오래 유지할 경우에는 부하와 근육 섬유질에 대한 잘못된 하중 분포로 인해 근골격계의 기능적 결함을 유발할 수 있다[7]. 작업자의 최대 악력(Grip Strength)은 작업을 수행하는 능력을 결정하고 전체 작업자들의 악력의 세기는 작업집단의 능력을 결정짓는다. 어깨와 팔꿈치 각도들이 악력에 상당한 영향을 미치며, 선자세에서 팔꿈치 각도가 135° 굴곡된 자세의 악력은 90° 와 180° 굴곡된 자세의 악력과 비교할 때 상당히 다르게 나타났으며, 선자세에서 최대 악력은 어깨 0° 외전, 팔꿈치 135° 굴곡되고 정위치 손목의 조합에서 나타났다[9]. 작업자의 최대 악력 수준을 넘는 무리한 힘이 요구되는 동작이나 반복작업은 누적외상병(CTDs)의 일종인 수근관증후군(Carpal Tunnel Syndrome, CTS)의 원인이 된다[8].

따라서, 본 연구에서는 쪼그려 앉은자세에서 작업하는 업무의 특성이 대부분 공구를 들고 하는 것이기 때문에 악력에 대해 조사하는 것을 목적으로 하며, 쪼그려 앉은 자세에서 어깨가 180°, 135°, 90° 와 45° 로 굴곡된 자세들을 중심으로 최대의 악력을 조사한다. 이는 공구를 들고 작업함에 있어서 악력이 최대인 자세에 작업점을 배치함으로써 부하를 최소화하는 작업자세를 제시하고자 한다. 특히, 쪼그려 앉은자세에서 최대 악력이 나타난 작업자세와 인체부위의 치수(Anthropometric Data)간의 상관관계를 분석함으로써 쪼그려 앉은자세에서 악력에 미치는 인체부위를 선정 제시하고자 한다. 이 결과를 통해 인간공학적인 수공구 설계에 도움을 줄 수 있을 것이다.

2. 실험

2.1 측정변수

앞에서도 언급했듯이 본 연구는 쪼그려 앉은자세에서 최대의 악력이 나타나는 어깨, 팔꿈치의 각도와 그 자세와 인체치수간의 상관관계를 알아보는 것을 목적으로 하기 때문에, 우선 신체부위를 선정하여 인체치수를 측정하는 것이 요구된다. 선자세에서 남자 오른손 악력의 크기와 상관관계가 있는 인체변수로는 연령, 신장, 체중, BSA(Body Surface Area), 앞팔길이, 손길이, 손목두께, 손목둘레, 손목너비 등이 다[4]. 이들 중에서 본 연구에서는 아래 <표 1>과 같은 측정변수를 사용하여 인체치수를 측정했다. 이들 중 변수 BSA는 신장과 체중의 관계로부터 DuBois식에 의한 체표면적을 의미하며 Chatterjee와 Chowdhuri가 악력과의 관계를 조사한 결과 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 체표면적 $BSA = 체중^{0.425} \times 신장^{0.725} \times 0.007184$ 로 계산된다. <표 1>에 나타난 기타 변수 X15 - X23들은 실험자세별 측정 변수를 나타낸 것이다. 이 변수들은 <그림 1>에 나타낸 작업자세를 의미한다.

표 1. 측정변수

변수명	변 수	변수명	변 수	변수명	변 수
연령	X1	손길이	X6	손두께	X11
신장	X2	엄지길이	X7	손목둘레	X12
체중	X3	중지길이	X8	팔길이	X13
앞은키	X4	손너비	X9	팔꿈치-손목길이	X14
BSA	X5	손가락 두께	X10		
Stand-180	X15	어깨굴곡-135	X18	팔꿈치굴곡-135	X21
Stand-135	X16	어깨굴곡-90	X19	팔꿈치굴곡-90	X22
어깨굴곡-180	X17	어깨굴곡-45	X20	팔꿈치굴곡-45	X23

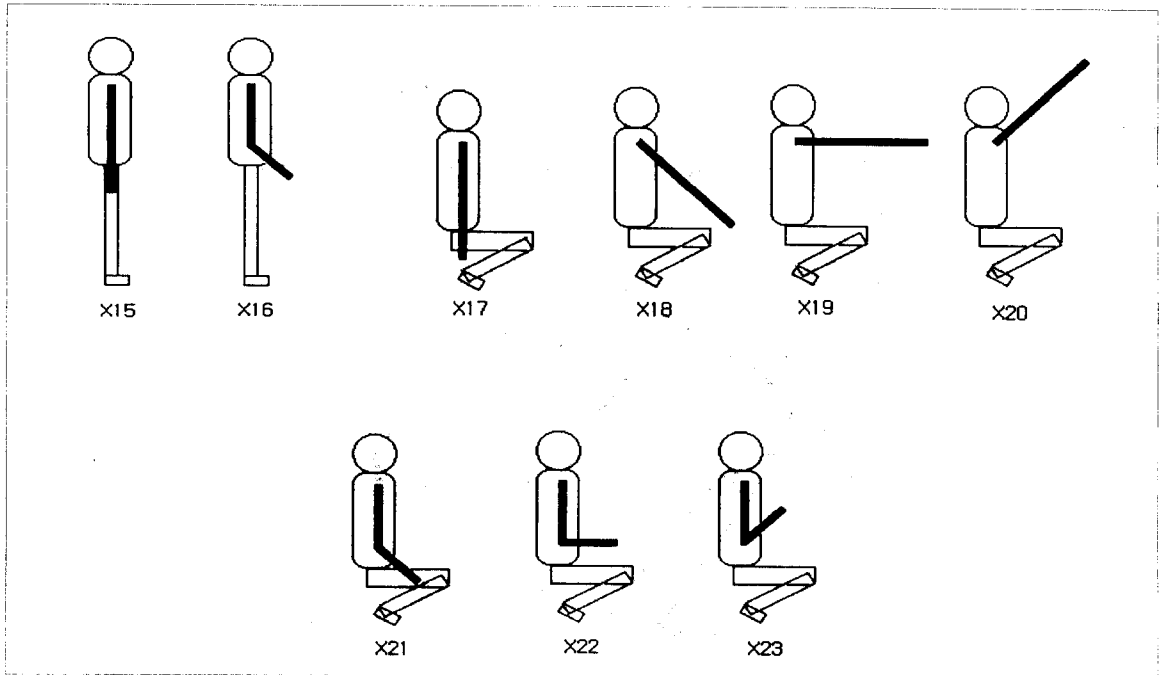


그림 1. 측정 자세

2.2 실험방법

실험은 <그림 1>에 나타난 것처럼 9가지의 실험자세에서 최대의 악력을 측정하도록 실시하였다. 실험자세는 1) 0° 외전된 어깨와 정위치의 손목에서 어깨 굴곡이 180°, 135°, 90° 와 45° 의 조합된 자세에서의 악력, 2) 0° 외전된 어깨와 정위치의 손목에서 팔꿈치 굴곡이 135°, 90° 와 45° 조합된 자세에서의 악력을 측정했으며, 기존의 연구에서 밝혀졌다시피 선자세에서 팔꿈치의 각도가 180° 와 135° 일 경우 최대의 악력을 나타내는 것으로 보고되었기 때문에, 비교를 위해 실험을 실시했다. 각 자세별 실험 간격은 3분 이상의 충분한 휴식을 갖도록 했다. 피실험자를 대상으로 실험에 대한 충분한 교육을 실시했고, 해당 작업자세에 대해 정확히 인지한 후에 실험을 실시했다.

2.3 피실험자 및 실험장비

본 연구의 피실험자는 어깨, 팔, 허리 등에 질병을 경험한 적이 없는 23-29세의 남자 대학생 및 대학원생 8명을 대상으로 <그림 1>에 나타난 9가지 자세에 대해 악력을 측정하였고, 기초적인 인체치수를 측정하였다. 인체치수를 측정하기 위해서 Martin식 인체측정기를 사용하였고, 악력을 측정하기 위해서 JARMER사의 Hydraulic Hand Dynamometer를 이용하였으며, 이때 Grip Position은 현장감을 위해 일반적인 공구의 길이에 가장 가까운 수치인 1.875inches(약 4.7cm)로 고정 시켜두고 악력을 측정하였다.

3. 분석결과

작업 자세는 <그림 2>에 나타난 Knee Flexion 각도와 Ankle, Hip, Lumbar Vertebral Flexion 각도들의 합간의 비율에 의해서 결정되어진다. 이런 각도들의 비율을 Postural Index(PI)라 하며, 아래 <식 1>로써 계산한다.

$$Postural\ Index(PI) = \frac{\text{선자세로 부터의 Knee Flexion 각도}}{\text{선자세로 부터의 Ankle, Hip, Lumbar Vertebral Flexion 각도들의 합}} \quad \text{식 (1)}$$

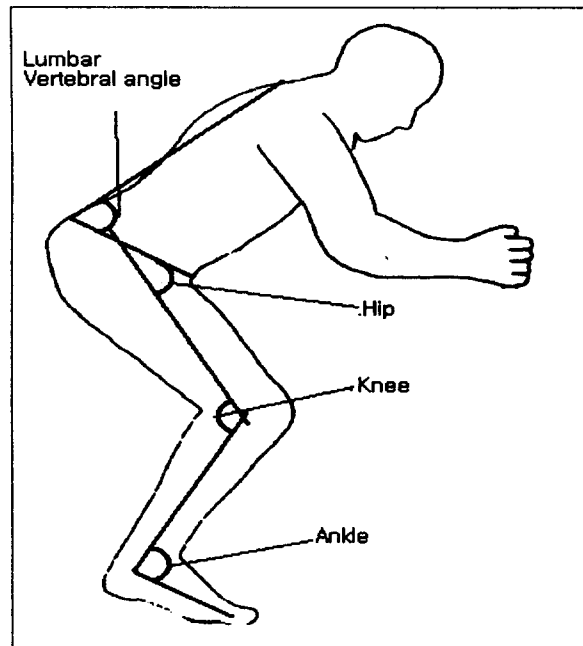


그림 2. Postural Index 값을 계산하기 위한 각 관절의 각도

특히, 쪼그려 앉은자세에서의 Postural Index값은 선자세로부터 쪼그려 앉은자세의 Knee Flexion, Ankle, Hip과 Lumbar Vertebral Flexion을 차감하여 나타난 값을 말하며, PI 는 0.8 일 때를 쪼그려 앉은자세라고 한다. <표 2>는 선자세를 기준으로 했을 경우, 쪼그려 앉은자세의 각도를 나타낸 것이다 [11].

표 2. 쪼그려 앉기 자세의 각도

각도	선자세	쪼그려 앉은자세
Ankle	107°	75° /32° (=107-75)
Knee	170°	65° /105° (=170-65)
Hip	80°	0° /80° (=80-80)
Lumbar Vertebral	95°	75° /20° (=95-75)

표 3. 인체 측정 결과

변수	평균치	표준편차	5%	95%
X1	26.500	0.991	26.00	28.65
X2	173.875	5.194	166.75	180.60
X3	68.625	9.768	56.75	82.55
X4	94.050	2.682	89.93	96.83
X5	1.822	0.144	1.64	2.01
X6	18.575	0.515	17.88	19.26
X7	6.450	0.334	6.07	6.96
X8	10.325	0.212	10.07	10.60
X9	8.588	0.376	8.20	9.00
X10	1.396	0.109	1.24	1.53
X11	3.024	0.122	2.85	3.13
X12	16.325	1.021	15.30	17.76
X13	70.613	2.450	67.98	73.76
X14	26.600	0.890	25.48	27.89

표 4. 신체부위별 상관관계

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
X1	1													
X2	0.336	1												
X3	0.507	0.824	1											
X4	0.449	0.922	0.905	1										
X5	0.478	0.905	0.987	0.945	1									
X6	-0.021	0.218	0.609	0.403	0.516	1								
X7	0.453	0.844	0.966	0.890	0.964	0.599	1							
X8	0.595	0.587	0.881	0.635	0.830	0.504	0.787	1						
X9	-0.072	0.541	0.687	0.680	0.674	0.707	0.598	0.488	1					
X10	-0.141	0.032	0.093	0.161	0.082	0.466	0.002	-0.051	0.527	1				
X11	0.209	0.392	0.554	0.623	0.528	0.647	0.533	0.267	0.767	0.623	1			
X12	-0.173	0.626	0.722	0.695	0.723	0.741	0.671	0.511	0.928	0.452	0.587	1		
X13	-0.365	0.375	0.396	0.463	0.412	0.510	0.284	0.216	0.819	0.591	0.424	0.875	1	
X14	0.146	0.578	0.664	0.574	0.669	0.474	0.510	0.681	0.722	0.532	0.367	0.758	0.718	1

<표 3>은 앞에서 조사한 측정 부위별 인체치수의 평균과 사분위수를 나타낸 것이다. 8명의 피실험자의 평균연령은 26.5세이며, 신장은 173.875cm, 체중은 68.9kg이며 BSA는 1.82cm임을 알 수 있다. <표

4>는 신체 부위별 상관관계를 보인 것으로, 신장은 체중, 앉은키, BSA, 엄지길이 등에 매우 높은 상관관계를 보였고, 체중은 앉은키, BSA, 엄지길이, 중지길이에 상관관계가 높고, 앉은키는 BSA, 엄지길이와 상관관계가 높고, BSA는 엄지길이, 중지길이에 매우 높은 상관관계를 보임을 알 수 있다. 특히, 손너비의 경우 손두께, 손목둘레, 팔길이에 높은 상관관계, 손목둘레는 팔길이, 팔꿈치-손목길이에 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. <표 4>에서 표시 “ ”은 상관관계가 0.75이상인 것을 나타낸 것이다.

<표 5>는 각 자세별 악력 측정 결과를 나타낸 것으로, 선자세에서는 팔꿈치 각도가 135° 일 때 최대 악력이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 Fredericks의 실험결과와 같게 나타났고, 이동춘 외 등의 실험결과와는 다르게 나타났다. 쪼그려 앉은자세에서 최대 악력은 어깨굴곡이 45° 일 때 발휘되었으며, 최소 악력은 팔꿈치굴곡이 45° 일 때 발생함을 알 수 있다.

표 5. 각 자세별 악력 측정 결과

변수	평균치	표준편차	5%	95%
X15	49.500	5.151	42.95	56.07
X16	50.363	4.367	46.00	55.30
X17	50.088	4.670	44.32	56.13
X18	50.475	5.326	43.20	56.23
X19	50.138	5.295	44.97	57.93
X20	51.600	5.534	44.67	57.59
X21	49.800	4.284	45.35	55.50
X22	50.200	4.807	44.59	55.40
X23	48.413	5.846	40.74	55.08

선자세와 쪼그린 자세에 대하여 신뢰수준 95%에서 악력의 차이가 있는지 없는지를 알아보기 위해 차이 분석을 실시하였다. <표 6>은 팔꿈치 굴곡 180° 인 선자세와 쪼그려 앉은자세의 유의차 분석 결과 아무런 차이가 없는 것으로 나타났다. 마찬가지로, 팔꿈치 굴곡 135° 에서도 두 자세간 차이는 없는 것으로 나타났다. 이는 선자세에서의 악력과 쪼그려 앉은자세에서의 악력에 별다른 차이가 없음을 보여주는 것이다.

표 6. 선자세와 쪼그린 자세의 유의차 분석 결과

	선자세 및 쪼그린 자세의 180°		선자세 및 쪼그린 자세의 135°	
	X15	X17	X16	X21
평균치	49.5	50.09	50.36	49.8
분산	26.53	21.81	19.07	18.35
F비	1.216		1.039	
p값	0.401		0.481	

표 7. 신체부위와 각 자세별 악력과 상관관계

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14
X15	0.17	0.54	0.60	0.71	0.62	0.33	0.45	0.45	0.85	0.39	0.63	0.71	0.74	0.66
X16	0.01	0.59	0.73	0.71	0.72	0.61	0.62	0.58	0.98	0.39	0.68	0.90	0.78	0.74
X17	-0.05	0.41	0.57	0.54	0.55	0.45	0.41	0.51	0.89	0.28	0.51	0.77	0.75	0.67
X18	0.03	0.41	0.66	0.55	0.62	0.56	0.49	0.66	0.88	0.27	0.48	0.80	0.74	0.75
X19	-0.24	0.46	0.45	0.54	0.47	0.36	0.31	0.29	0.88	0.46	0.50	0.82	0.90	0.70
X20	0.37	0.49	0.66	0.64	0.65	0.25	0.48	0.68	0.71	0.11	0.43	0.56	0.52	0.65
X21	0.18	0.38	0.56	0.56	0.54	0.48	0.42	0.46	0.87	0.52	0.80	0.64	0.57	0.63
X22	0.25	0.43	0.66	0.63	0.63	0.44	0.49	0.62	0.84	0.26	0.60	0.67	0.62	0.65
X23	0.45	0.44	0.62	0.67	0.60	0.27	0.44	0.56	0.69	0.27	0.57	0.51	0.53	0.58

신체부위와 각 자세간의 악력의 상관관계는 <표 7>에 나타난 것과 같이, 손너비, 손목둘레, 팔길이, 손두께, 팔꿈치-손목길이 등과 악력에 깊은 상관관계가 있음을 알 수 있다. 선자세에서 악력에 영향을 미치는 변수는 손너비, 손목둘레, 팔길이 등으로 나타났다. 이는 이동준 외을 실험결과와 같은 것으로 나타났다. 쪼그려 앉은자세에서는 이들 이외에 손두께, 팔꿈치-손목 길이가 추가적으로 고려되어야 하는 것으로 나타났다. 특히, 손너비는 대부분의 작업자세와 깊은 관계를 갖고 있는 것으로 나타난 반면, 연령, 손길이, 손가락두께 등은 별다른 관계성을 발견하지 못했다. 9가지의 실험자세들 간에는 상관관계수 값이 대부분 $r=0.75$ 이상에 해당되며, 어깨굴곡 90° 와 팔꿈치굴곡 45° 에서만 상관관계가 낮게 나타났다.

4. 결론 및 토의

본 연구는 조선산업, 장치산업, 금형산업에서 작업하는 작업자들에게 많이 발생하는 쪼그려 앉은자세에서 최대 악력을 나타내는 어깨 및 팔꿈치의 각도를 제시하는 것과 이때 어떤 인체변수가 깊은 상관관계가 있는지를 분석하는 것을 목적으로 진행했다.

이상과 같이 분석결과, 쪼그려 앉은 작업 자세에서 최대악력은 어깨굴곡이 45° 인 자세에서 발휘되는 것으로 나타났으며, 쪼그려 앉은자세에 영향을 미치는 인체변수로는 손너비, 손목둘레, 팔길이, 손두께, 팔꿈치-손목길이 등인 것임을 알 수 있었다. 또한, 예상과는 달리 선자세와 쪼그려 앉은자세간의 차이분석 결과 아무런 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 본 연구가 쪼그려 앉은자세를 몸통을 곧게 편 상태, 즉 Lumbar Vertebra Flexion 각도가 90° 를 유지하도록 해서 악력을 측정하였으며, 자세 변수를 어깨와 팔꿈치의 각도로 제한하여 최대 악력을 조사했기 때문에 많은 제약이 있었던 것으로 사료된다.

차후 연구과제로는 쪼그려 앉은자세에서 최대 악력을 나타내는 자세를 조사하기 위해 앞의 제약변수들을 포함하여 다양한 Grip Position의 변화, 왼손 및 장갑 착용 경우 등등을 더 고려할 필요성이 있다. 특히, 쪼그려 앉은자세에 대한 다양한 경우를 위해 Lumbar Vertebral Flexion의 각도를 조사하여 이를 실험에 적용해야 하며, 어깨와 팔꿈치의 굴곡뿐만 아니라 어깨의 외전 및 내전, 팔꿈치의 내전 및 외전의 경우도 고려하는 것이 요구된다.

Reference

- [1] 김병석, "생산성 향상을 위한 안전관리 체계화", 명지대학교 박사학위 논문, 1996
- [2] 김진호, 박세진, 김철중, "한국 청년의 근력 특성에 관한 연구",
- [3] 양성환, 김대성, 박범, "요배근력 측정 및 L5/S1 요추부하 평가에 관한 연구", 산업안전학회지, Vol.12, No.2, 1997.9
- [4] 이동춘, 장규표, "한국성인의 악력 특성분석에 관한 연구", Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol.16, No.1, pp.73-83, 1997
- [5] 이인석, 정민근, "쪼그려 앉은 작업자세에서의 작업부하 평가", 1997년 춘계 대한인간공학회, pp. 90-94, 1997
- [6] Chaffin, D. B., "Occupational Biomechanics", John Wiley & Sons, Inc., 1991
- [7] Chaffin, D. B., "Human strength capability and low back pain", Journal of Occupational Medicine, 9, pp.248-254, 1974
- [8] Fredericks, T.K., Kattel, B.P., Fernandez, J.E., "Is grip strength maximum in the neutral posture ?", Advances in Industrial Ergonomics and Safety VII, Edited by A.C.Bittner and P.C.Champney, Taylor & Francis, pp. 561-568, 1995
- [9] Kattel, B.P., Federicks, T.K., Fernandez, J.E., Lee, D.C., "The effect of upper extremity posture on maximum grip strength", International Journal of Industrial Ergonomics, 18, pp. 423-429, 1996
- [10] Mital, A., Nicholson, A. S., Ayoub, M. M., "A guide to manual materials handling", Taylor & Francis, 1997
- [11] Robin B.L., Bruce A. "Toward a quantitative definition of manual lifting postures", Human Factors, 39(1), pp.141-148, 1997