

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.1.459>

JCCT 2024-1-54

## 노약자를 위한 변기 리프팅 시트 연구

### A study on the toilet lifting seat for the elderly

김민서\*, 손혜민\*, 조진호\*, 김상현\*\*

Minseo Kim\*, Hyemin Son\*, Jinho Cho\*, Sang-Hyun Kim\*\*

**요약** 본 연구는 화장실 변기 사용 과정 중 일어나는 노인 낙상사고를 예방하기 위한 변기 리프팅 시트 설계를 목적으로 한다. 설계에 앞서 화장실 사용과 관련된 규정과 법률 및 국가표준을 통해 보조 기구 설치 가능 공간을 결정하였으며, 고령자의 신체 치수 및 작동 범위를 고려하여 사용자가 외부의 도움 없이 더욱 안전하고 편리하게 사용할 수 있는 최적화된 변기 시트의 최종 위치를 설정하였다. 또한, 효과적인 기립 보조를 수행할 수 있도록 기구 작동 시 시트 상승과 각도 조절이 동시에 구현되게 복합 4절링크 구조를 적용하였으며 Linkage 프로그램과 UG NX를 이용하여 적절한 링크 형상과 치수를 결정하였다. ANSYS Workbench를 이용한 FEA 해석 및 실제 제작을 통해 기구 작동 과정의 링크 안전성 검증 및 리프팅 시트의 정상 작동 여부를 확인하였다.

**주요어** : 변기 시트, 리프팅, 낙상사고, 복합 링크기구, 기구 설계

**Abstract** The purpose of this study is to design a toilet lifting seat to prevent falls accidents in the elderly while using the toilet. Prior to design, laws and national standards related to restroom use were investigated and the available space for the assistive devices to be installed was determined. In additions, considering the body size and operating range of the elderly, the optimal final position of the toilet seat is set so that users can use it more safely and conveniently without external help. Moreover, in order to provide an effective standing assistance function, a complex 4-bar link structure was applied to enable simultaneous seat elevation and angle adjustment when operating the device, and the appropriate link shape and dimensions were determined using a linkage program and UG NX. FEA analysis using ANSYS Workbench is performed to ensure the robustness of the stretched linkage and the feasibility of the lifting seat is verified through fabrication.

**Key words** : Toilet seat, Lifting, Fall accident, Complex link mechanism, Kinematic design

### 1. 서론

오늘날 전 세계적으로 노인 인구는 급격히 증가하고 있으며, 특히 2011년부터 2020년까지 국내 노인 인구

증가율은 평균 4.4%로 경제협력개발기구(OECD) 회원국 중 가장 급격한 고령화가 진행되고 있다. 이러한 고령화 시대에 부합하기 위해 노인들의 삶의 질 향상을 위한 다양한 법률 및 의료지원제도가 시행되고 있다.

\*준회원, 한성대학교 기계전자공학부 학부생

\*\*정회원, 한성대학교 기계전자공학부 (교신저자)

접수일: 2023년 10월 15일, 수정완료일: 2023년 11월 2일

게재확정일: 2023년 11월 10일

Received: October 15, 2023 / Revised: November 2, 2023

Accepted: November 10, 2023

\*\*Corresponding Author: shkim@hansung.ac.kr

Dept. of Mechanical Systems Eng., Hansung Univ, Korea

그러나 신체 기능 저하로 인해 질병뿐만 아니라 낙상으로 인한 골절 등 예상치 못한 사고가 발생하는 등 노인들은 일상생활에 많은 어려움을 겪고 있다[1].

한국소비자원의 '고령자 위해정보 동향 분석'과 한국생활안전연합의 '한국의 노인낙상사고 실태조사'에 따르면 고령자 낙상사고는 전체 안전사고의 60% 이상을 차지하며 화장실/욕실이나 침실 및 주방과 같이 기립이나 이동이 잦은 실내에서 자주 발생하고 있다. 특히, 화장실에서 변기를 사용하기 위해 앉았다 일어나는 행위는 적절한 균형능력과 하지 근력이 필요하므로 신체 능력이 떨어지는 노인들에게는 낙상과 같은 사고 가능성이 커진다. 또한, 야간에는 보호자의 도움을 받기 어려워 사고 위험성이 더욱 증가하기 때문에, 이를 방지하기 위해서는 보조자의 개입 없이 편리하게 사용할 수 있는 변기 보조 기구가 필요하다.

최근 독립적 활동에 제약이 있는 노인들의 화장실 사용에 도움을 제공하는 보조 기구에 관한 연구 및 제품개발이 진행되고 있다[2, 3]. 그러나 화장실 벽이나 변기 옆면에 설치되는 정적 보조 기구는 사용자가 직접 지지하거나 조작해야 하므로 근력이나 잡기 능력이 감소하는 고령자의 앉고 서는 동작을 효과적으로 보조하기에는 부족하다. 또한, 실린더에 의해 구동되는 링크기구를 변기 양면에 설치하여 사용자의 엉덩이 허벅지 하부를 올려주는 동적 보조 기구는 설치 공간 제약으로 인해 필요한 리프팅 조건을 만족하지 못해 상용화가 어려운 실정이다. 해외 최대 직구 플랫폼(AliExpress)의 소비자 사용 후기에 의하면 보다 구동 범위가 넓은 리프팅 제품을 희망한다는 다수의 의견이 보고되었다[4].

따라서 본 연구에서는 기존 동적 보조 기구의 링크 형상을 변경하거나 추가 설계하여 노약자의 기립을 보조할 수 있는 변기 리프팅 시트의 기구 형상을 제시하고자 한다. 설계에 앞서 화장실 사용과 관련된 법률 및 국가표준을 조사하여 설치 가능 공간을 결정하고, 고령자의 신체 치수 및 작동 범위 등을 고려하여 사용자 편의성을 최적화할 수 있는 시트의 최종 위치를 설정한다. 또한, 효과적인 착석 및 기립 보조를 수행할 수 있도록 시트 상승과 각도 조절이 동시에 이루어지도록 하였으며 이를 구현하기 위한 적절한 복합 링크 형상을 설계하였다. ANSYS s/w를 이용하여 기구 작동 과정의 링크 안전성 검증을 수행하였으며 실제 제작을 통해 제시된 복합 링크기구의 정상 작동 여부를 확인하였다.

## II. 설계 배경

현재 화장실 사용에 제약을 받는 노인을 위해 시장에 출시된 변기 보조 기구는 정적 기구와 동적 기구로 분류된다. 정적 기구는 손잡이나 지지대 등의 구조물 형태로 변기 주변에 설치되며 각도, 높이, 두께 등 다양한 매개변수를 사용자 편의에 맞게 선택할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 구조물 특성상 외부적인 힘 없이 사용자의 근력에만 의존하기 때문에 일부 사용자에게는 기능적으로 낙상 방지에 적합하지 않다. 반면 동적 기구는 유압 실린더로 구동되는 링크를 포함한 기계장치를 사용하기 때문에 힘이 부족한 사용자에게도 부담되지 않으며, 고령자의 착석 및 기립을 효과적으로 보조해 줄 수 있다. 그러나 시트 리프팅 범위는 실린더 길이 연장에 의한 링크의 직선이나 회전 운동을 통해 결정되므로 힘의 균형과 안전성을 위해 링크 고정단과 하중점 사이에 충분한 거리가 필요하다. 따라서 화장실 내부 설치 공간 제약으로 인해 고령자에 필요한 변기 리프팅 최적 성능 값을 만족하지 못하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 고안한 변기 리프팅 시트의 개념도를 그림 1에 나타내었다. 모터에 의해 구동되는 적절한 복합 링크기구를 배치하여 연결된 링크 상호작용을 통해 수직 및 회전 운동이 동시에 구현되게 하였다. 또한, 링크 고정단과 하중점 위치를 조절하여 공간 확보의 효율성을 높였으며, 이를 통해 고령자의 착석과 기립 과정을 더욱 안전하고 편리하게 만들었다.



그림 1. 변기 리프팅 시트 개념도

Figure 1. Conceptual design of the toilet lifting seat

모터 기반 리프팅 시트는 변기 좌우에 설치되며 리프팅에 사용되는 링크기구는 모든 질점이 평면상에서 좌우, 상하로 운동하는 '평면기구'에 해당하기 때문에 식 (1)의 쿠츠바흐 판별식(Kutzbach criterion)을 사용하여 기구의 움직임을 결정할 수 있다[4].

$$M = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2 \quad (1)$$

식 (1)에서 운동성  $M$ (mobility)은 링크기구가 독립적으로 운동할 수 있는 경우의 수이며,  $n$ 은 링크의 수,  $j_1$ 과  $j_2$ 는 각각 자유도가 1과 2인 조인트 수를 나타낸다.

### III. 설계 및 제작

#### 1. 리프팅 시트 구동 범위 설정

변기 시트의 리프팅 각도와 높이는 효과적인 기립을 지원하는 주요 요소이다. 따라서, 고령자가 더욱 안전하게 화장실을 이용하기 위해서는 기존 보조 기구보다 상대적으로 큰 각도와 높이 값을 가질 필요가 있다. 그러나 값이 너무 크면 기립 지지에 부정적인 영향을 미치고 부상 위험을 증가시킬 수도 있으므로, 상세 설계에 앞서 해당 값의 적절한 범위를 명확히 정의하여 안전성과 효율성을 확보하는 것이 중요하다.

다양한 의자 각도와 그 효과를 분석한 연구에 따르면 의자 각도가 커질수록 각 근육의 근활성도가 감소하는 경향을 보였다. 특히 의자 각도가 10°가 될 때까지는 엉덩이 관절의 조인트 모멘트는 증가하지만, 그 뒤로는 계속 감소하여 의자 각도가 35°에 도달하면 가장 작은 값을 가진다. 또한, 65세 이상 노인을 대상으로 하지 능동관절 가동 범위를 조사한 결과, 무릎관절의 능동관절 가동 범위는 최대 50°로 확인되었다[5]. 이를 토대로 의자 시트 각도 변화는 최소 35°에서 최대 50°로 결정되었다. 의자 높이는 최대 기계적 하중과 최대 관절 모멘트에 영향을 미치며, 높이가 10~40cm, 50~60cm일 때 큰 차이를 보인다[6]. 따라서 목표 높이 변화량은 최대 기계적 하중과 최대 관절 모멘트가 가장 작은 값을 보이는 60cm에서 “장애인, 노인, 임산부 등의 편의 증진 보장에 관한 법률 시행규칙”에서 규정한 변기 최저 높이가 40cm를 제외한 20cm로 결정하였다. 작동 과정에서 시트가 뒤로 움직이게 되면 사용자에게 불편함을 줄 수 있으므로 시트는 앞으로 이동하도록 설계되어야 한다. 제8차 인체치수조사에 따르면 65세 이상 노인의 앉은 엉덩이 오금 수평 길이는 464mm 범위에 분포한다. 이 값을 KS L 1004에 규정된 변기 길이 440mm와 비교하면, 시트의 전진 범위는 약 25mm로 결정될 수 있다. 설정된 목표 시트 각도, 높이 변화량 및 전진 범위를 표 1에 나타내었다.

표 1. 리프팅 시트 추천 구동 범위

Table 1. Recommend driving range of the lifting seat

Definition	Value
angle change of seat	< 35~50°
height change of seat	< 20cm
forward movement of seat	> 0~2.5cm

#### 2. 개념 설계

고령자가 리프팅 시트를 안전하고 편하게 사용하기 위해서는 보조 기구가 한 번의 동작으로 작동되어야 하므로 기구의 운동성은 1이 되어야 한다. 따라서 식 (1)에서 운동성  $M=1$ 을 만족하는 가장 간단한 링크기구는  $n=4$ ,  $j_1=4$ 인 4절링크이며 이때 출력링크는 병진 또는 회전 운동을 할 수 있다. 다만, 시트 착석과 기립 시 고령자의 신체적 부담을 최대한 줄여야 하므로 적절한 시트 상승과 회전이 동시에 이루어져야 한다. 그러나 병진 또는 회전만 가능한 일반적인 4절링크 만으로는 원하는 운동 경로를 만족시키기 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해 다수의 4절링크가 연결된 복합 링크기구를 사용하였다. 링크와 조인트 개수를 최소한으로 고려했을 때 공유 링크가 없는 경우  $n=8$ ,  $j_1=10$ 인 조합이 되지만 이는 기구의 수명 저하 및 운동의 효율성을 감소시킬 수 있으므로 적합하지 않다. 또한, 링크 한 개를 공유하는  $n=5$ ,  $j_1=5$ ,  $j_2=1$  조합은 자유도가 2인 조인트로 인해 기구 형상이 복잡해지는 문제가 발생한다. 따라서 그림 2와 같이 링크 및 조인트 수를 최소화하면서 2개의 링크를 공유하는  $n=6$ ,  $j_1=7$ 인 복합 링크기구를 사용하였다. 이는 병진과 회전 운동을 각각 담당하는 2개의 4절링크가 결합된 이중 4절링크(double 4-bar linkage) 형태로 공유 링크를 통해 병진 및 회전 운동이 동시에 진행되므로 전체 이중 4절링크의 운동 경로, 즉 리프팅 시트의 수직 및 회전 범위를 조절할 수 있다.

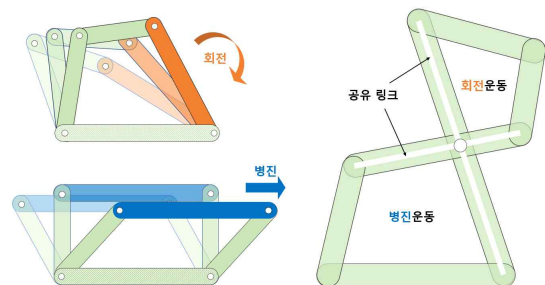


그림 2. 이중 4절링크 구동 개념도

Figure 2. Conceptual design of the double 4-bar linkage

3. 상세 설계

현재 시판되고 있는 리프팅 시트 보조 기구는 유압 실린더로 구동되는 입력링크의 슬라이딩 변위에 따라 시트의 리프팅 범위가 정해지기 때문에 적절한 힘 분배와 에너지 효율을 위해 상대적으로 넓은 설치 공간이 필요하다. 하지만, 변기가 위치한 화장실 내부 공간이 협소해 실린더가 충분히 연장되지 않아 고령자를 위한 리프팅 최적 성능 값을 만족하지 못한다. 따라서 본 논문에서 제안하는 시트 보조 장치는 표 1에서 제시한 추천 구동 범위뿐만 아니라 설치 공간 제한 조건도 만족해야 한다. 그림 3은 개념 설계에서 제안한 이중 4절링크 기구의 구동 및 설치 가능 범위를 나타낸다.

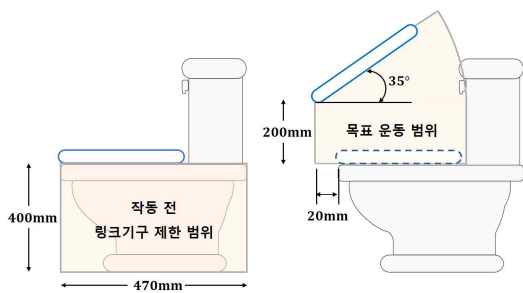


그림 3. 이중 4절링크 기구 설치 및 운동 범위  
Figure 3. Limited Installment area and target driving range of the double 4-bar linkage

이중 4절링크 기구가 위에서 결정한 제약 조건을 만족하기 위한 기구 구동 방법, 링크 조합, 입/출력링크 위치 및 링크 길이를 결정하기 위해 기구 설계 s/w인 Linkage 프로그램을 이용하여 링크 궤적을 확인하였다. 표 2는 Linkage를 이용한 입력링크 구동 방법에 따른 이중 4절링크 기구의 거동을 나타낸다. 상부와 하부 4절링크의 조합으로 이중 4절링크를 합성하였으며 공유 링크의 기구학적 상호작용을 통해 하부 4절링크의 입력링크 거동에 따른 상부 4절링크의 변위를 확인할 수 있다. 따라서 원하는 수직 및 회전 운동이 이루어질 때까지 링크 조합 방법 및 링크 길이를 조절함으로써 최적의 링크기구 형상 및 치수를 결정할 수 있다.

표 2의 링크기구 궤적을 토대로 이중 4절링크의 입력링크 구동 방법을 결정하였다. 슬라이드 방식은 실린더가 연장되는 거리만큼 입력링크가 구동되는 기구 특성상 공간을 많이 차지하고, 기구가 고정되는 프레임 링크 위치와 사용자가 앉는 지점 사이의 거리가 멀어져 재료에 불균등한 하중 분산을 형성한다. 이에 반해 크

랭크 방식은 모터에 의해 입력링크가 반복적으로 회전하면서 구동되므로 설치 공간을 덜 차지하며, 링크 고정단과 하중점 사이 거리가 상대적으로 짧아 내구성 향상, 재료 절약 및 성능 최적화 등 다방면으로 효율적인 설계가 가능하다.

표 2. 구동 방식에 따른 이중 4절링크 기구 거동  
Table 2. Driving configuration of the double 4-bar linkage

driving	case	folded	stretched
slider	A		
	B		
crank	C		
	D		

그림 4에 모터로 구동되면서 상/하부 4절링크의 조합으로 합성된 이중 4절링크 형상을 나타내었다. 하부 4절링크의 링크 A는 입력링크인 크랭크, 상부 4절링크의 링크 D는 출력링크인 로커가 되며 링크 B와 링크 C는 상부와 하부를 연결하는 공유 링크가 되도록 설계하였다. 따라서 모터로 구동되는 입력링크가 회전하면 연결된 공유 링크의 기구학적 상호작용으로 기구가 전개되어 출력링크가 수직 및 회전 운동을 동시에 진행하게 되며 이를 통해 변기 시트가 목표 위치까지 리프팅 하게 된다.

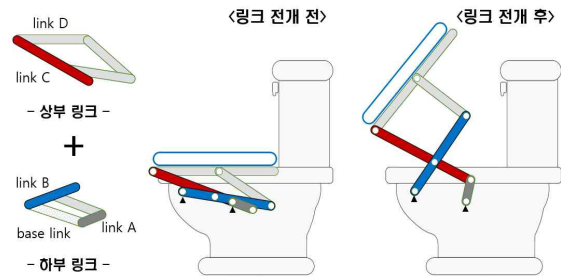


그림 4. 시트 리프팅을 위한 크랭크 방식 이중 4절링크  
 Figure 4. Crank-typed double 4-bar linkage for seat lifting

위의 이중 4절링크 기구의 치수를 정하기 위해 치수 합성 과정을 진행하였다. 링크의 구속 위치, 길이, 형상 및 각 링크와 조인트 결합방법 등을 조절하면서 최종 위치까지의 기구 운동 경로를 확인하였으며 제한된 공간에 설치되면서 최적의 리프팅 시트 구동 범위를 충족하는 링크기구를 결정하였다. 그림 5는 합성을 통해 설계된 이중 4절링크 기구의 형상 및 치수를 나타낸다. 일반적으로 링크 길이는 조인트 사이의 최단 거리를 의미하며 개별 링크 형상은 출력링크 움직임에 영향을 주지 않는다. 하지만 상/하부 링크기구가 연결된 이중 4절링크 기구는 공유 링크의 길이뿐만 아니라 형상에 따라 출력링크 거동은 달라진다. 따라서, 상/하부에 공유되는 링크 B와 링크 C 형상을 직선이 아닌 꺾인 형태로 변경하여 제한된 설치 공간 조건을 만족하면서 출력링크인 링크 D의 구동 범위를 극대화하였다.

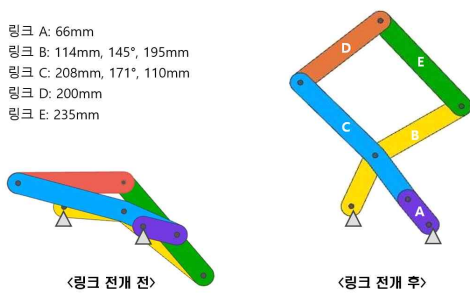


그림 5. 이중 4절링크 최종 형상 및 치수  
 Figure 5. Configuration of the double 4-bar linkage and its dimensions

치수 합성 과정을 통해 설계된 이중 4절링크 기구를 장착한 리프팅 시트의 최종 CAD 형상은 그림 6과 같다. 링크기구가 추가 지지대에 연결하여 화장실 바닥과 고정되었으며 링크기구 전개 시 연결된 시트가 원하는 수직 및 회전 범위만큼 리프팅 되는 것을 확인하였다.

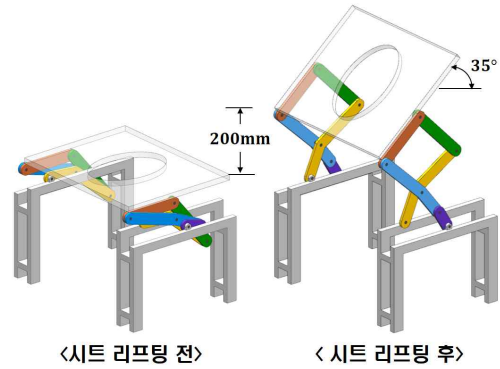


그림 6. 변기 리프팅 시트 최종 CAD 형상  
 Figure 6. Final 3D CAD modeling for the toilet lifting seat

#### 4. 안정성 검증 및 제작

리프팅 시트는 거동이 불편한 고령자가 안전하게 사용해야 하므로 작동 과정에서 사용자의 하중을 지탱할 수 있는 충분한 강성이 보장되어야 한다. 화장실에 설치되는 리프팅 시트 특성상 기구를 구성하는 링크 재료로 내부식성이 우수한 SUS-304(항복강도 205MPa)를 선택하였으며 ANSYS Workbench를 이용하여 안정성 검증 해석을 수행하였다[7]. 그림 7은 FEA 해석을 위한 하중과 경계 조건 및 응력해석 결과를 나타낸다. 최대 하중은 기립이나 착석 시 시트에 가해지므로 링크 형상은 기구가 최대로 전개된 상황을 가정하였으며 의료기기 기준규격에 따라 981N의 정격하중을 출력링크에 부여하였다. 또한, 각 링크는 revolute joint로 연결하였으며 프레임과 연결되는 조인트를 fixed joint로 구속하였다. 해석 결과에서 알 수 있듯이 상/하부 4절링크가 연결되는 조인트 부분에서 82.6MPa의 최대 응력이 발생하였으며 이는 재료의 항복강도보다 현저히 낮으므로 설계한 이중 4절링크 기구는 최대 하중에 대하여 안전하다고 판단된다.

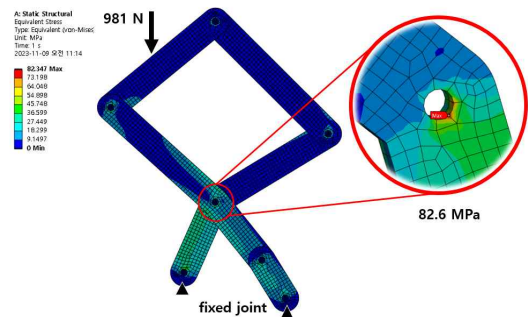


그림 7. 이중 4절링크 기구 응력 해석 결과  
 Figure 7. Stress analysis result of the double 4-bar linkage

그림 8은 제안된 리프팅 시트의 동적 성능을 검증하기 위해 프로토타입으로 제작된 제품 형상을 나타낸다. 제작 시간 단축 및 가공성을 고려하여 이중 4절링크 기구는 SUS-304 보다 가벼운 소재(PLA 필라멘트)를 사용하여 3D 프린팅으로 제작하였다. 또한, 변기 시트는 내부 구조를 쉽게 확인할 수 있도록 투명 아크릴판을 사용하여 링크기구와 연결하였다. 이중 4절링크 기구가 변기 시트 및 추가 지지대에 잘 부착되어 있으며 프로토타입의 작동 테스트를 통해 링크기구가 정상적으로 전개되며 연결된 변기 시트가 최종 목표 높이 및 각도까지 리프팅 되는 것을 확인하였다.



그림 8. 리프팅 시트 프로토타입 제작 형상  
Figure 8. 3D printed prototype of the toilet lifting seat

#### IV. 결 론

본 연구에서는 노인들이 변기를 사용할 때 예상되는 낙상 사고를 방지하기 위해 기존 리프팅 시트 보조 기구의 문제점을 개선한 새로운 링크기구 형상을 제시하였으며 안정성 검증 및 실물 제작을 통하여 타당성을 확인하였다. 화장실 공간 관련 규정, 기존 제품 특허 분석, 고령자 사용 편의성 등을 고려하여 효과적인 기립 보조를 위한 링크기구 설치 범위, 시트 최종 위치, 최적의 시트 상승 경로를 설정하였다. 또한, 이중 4절링크 기구를 적용하여 운동성이 1이면서 시트 상승과 각도 조절이 동시에 이루어지게 하였으며 링크의 길이와 조인트의 종류 및 위치를 적절하게 선정하여 최종 링크기구를 설계하였다.

본 연구에서 제시하는 리프팅 시트 보조 기구는 사용이 간편하고 간단한 동작만으로도 고령자가 기립하는 것을 효과적으로 지원하여 낙상 사고를 방지하므로

보다 안전한 화장실/욕실 사용 환경을 제공할 수 있다. 또한, 고령자를 비롯한 노약자가 타인의 도움 없이 독립적으로 화장실을 이용할 수 있으므로 삶의 질 향상은 물론, 일상생활에서 발생하는 노약자의 건강과 안전 문제에 대한 사회적 인식이 제고되는 계기가 될 것으로 기대된다.

#### References

- [1] N. Callis, "Falls prevention: Identification of predictive fall risk factors," *Applied Nursing Research*, Vol. 29, pp. 53-58, 2016.
- [2] J.H. Kim, K.J. Chun, J.S. Hong, N. R. Lee, C.W. Kim and J.J. Seo, "A Study on Evaluation of Seat pan inclination during Sit-to-stand for development of elderly lifting chair," *Ergonomics Society of Korea*, Vol. 2010, No. 10, pp. 147-111, 2010.
- [3] S.Y. Song, Apparatus for assisting the standing of toilet seat users, KR Patent 102062486, filed Dep. 27. 2019, issued Jan. 03. 2020.
- [4] J.J. Uicker, G.R. Pennock and J.E. Shigley, "Theory of Machines and Mechanism," ITC, 2012.
- [5] W. Yoon and H. Lim, "Comparative analysis on the range of joint motion of single joint motion and compound joint motion in the elderly," *Sports Science*, Vol. 36, No. 2, pp. 309-316, 2019.
- [6] S. Yoshioka, A. Nagano, D.C. Hay and S. Fukashiro, "Peak hip and knee joint moments during a sit-to-stand movement are invariant to the change of seat height within the range of low to normal seat height," *Biomed. Eng. Online*, Vol. 13, No. 27, pp. 1-13, 2014.
- [7] A.G. Erdman, "Mechanism Design, Analysis and Synthesis," Prentice-Hall, 2017.

※ 이 논문은 한성대학교 교내학술연구비 지원 과제임  
This research was financially supported by Hansung University.