

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.5.591>

JCCT 2022-9-74

## 구동 각도 조절이 가능한 가변형 4절링크 설계

### Design of variable 4-bar linkage structure for adjustable driving angle

김상현\*

Sang-Hyun Kim\*

**요약** 다양한 산업분야에서 사용되는 4절 링크기구는 링크 길이가 고정되어 있으므로 기구의 움직임을 변경하기 위해서는 독립적인 링크기구나 제어장치를 추가해야 하는 불편함이 있다. 따라서 본 논문에서는 상황에 따라 링크기구의 운동을 선택적으로 제어할 수 있도록 링크 길이가 조절되는 가변형 4절 링크기구를 설계하였으며 링크기구에 의해 구동되는 제품인 선풍기에 적용하여 그 타당성을 검증하였다. 바람 범위의 효율성을 고려하여 선풍기 회전각도를 3단계로 분할하였으며 각 구간에 필요한 링크 길이를 계산하였다. 또한, 원통캠을 이용하여 링크 길이를 조절하였으며 선풍기의 회전각도 조절 작동 여부를 실제 제작 및 측정을 통해 확인하였다. 본 논문에서 제시한 가변형 링크기구는 산업용 로봇이나 연료 밸브 시스템 등과 같은 4절링크 적용 제품의 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어** : 4절링크, 원통캠, 선풍기, 구동각도, 가변형 링크 구조

**Abstract** Since 4-bar linkage widely used in various industrial fields has a fixed link length, it is inconvenient to add an independent link structure or control device to change the movement of output link. Therefore, this paper proposes a new concept of variable 4-bar linkage mechanism to selectively adjust the movement of the output link to fit desired situations, and applied to the commercial table fans, which is a representative product using a 4-bar linkage system. The optimal rotation angle steps for efficiency are determined experimentally and the appropriate lengths of linkage to fit each step are calculated analytically. Changes in the linkage length are implemented by the rotational motion using a grooved cylindrical cam and the feasibility of the proposed variable linkage mechanism is verified through fabrication and measurement. The presented variable link mechanism is expected to improve the efficiency of industrial robots and fuel valve systems.

**Key words** : 4-bar Linkage, Cylindrical Cam, Fans, Driving Angle, Variable Linkage Structure

#### 1. 서론

링크기구는 몇 개의 링크를 핀 이음으로 연결하여 일정한 한정운동을 하는 구조이며 링크 조합 및 구속 방법에 따라 다양한 구동을 할 수 있으므로 동력이나 운동을 전달하는 거의 모든 분야의 제품에 사용된다.

그 중 4절링크는 주로 회전 또는 왕복 운동을 전달하거나 제어하는 데 사용되는 가장 기초가 되는 링크기구로 산업현장 혹은 우리의 일상 속에서 흔하게 사용되는 필수 불가결한 요소이다 [1, 2].

일반적으로 기존의 4절 링크기구는 링크 길이가 정해지면 운동 경로나 형태 또한 고정된다는 특징이 있다.

\*정회원, 한성대학교 기계시스템공학과 (제1저자)  
접수일: 2022년 7월 27일, 수정완료일: 2022년 8월 18일  
게재확정일: 2022년 9월 3일

Received: July 27, 2022 / Revised: August 18, 2022

Accepted: September 3, 2022

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

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

따라서 출력링크의 움직임을 조정하거나 정해진 경로 이외에 추가적인 운동을 제공하기 위해서는 링크 길이를 바꿔야 한다. 하지만 링크는 길이가 조정되지 않는 강체이기 때문에 출력링크의 구동각을 선택적으로 조정하기 위해서는 하나의 각도를 위해 독립적인 4절링크를 재설계하거나 재설치 해야 하는 불편함이 있었다. 이에 기존 4절링크 형상을 최소한으로 변형하면서 운동 경로를 변경할 수 있는 구조에 대한 연구가 요구되고 있다. 최근 링크기구를 추가하지 않고 모터와 같은 제어장치를 회전부에 부착하여 출력링크의 구동각도를 제어하는 방법이 제시되었지만 장치가 복잡하고 발열이나 소음 및 진동과 같은 추가 문제를 발생시킨다 [3, 4].

따라서 본 연구에서는 독립적인 4절링크를 추가하거나 복잡한 전자시스템을 도입하지 않고 출력링크의 움직임을 선택적으로 변경할 수 있는 새로운 개념의 4절링크구조를 제안한다. 원하는 상황에 맞게 출력링크의 구동각도를 조절할 수 있도록 링크 형상이 변경되는 가변형 4절 링크기구를 설계하였으며 상업용 선풍기에 실제로 적용하여 그 타당성을 검증하였다.

## II. 이론적 배경

### 1. 4절 링크기구의 운동

그림 1은 대표적인 4절링크인 크랭크-로커 기구를 나타내며 프레임(L1), 크랭크(L2), 커플러(L3) 및 로커(L4)로 구성되어 있다. 크랭크-로커 기구는 입력링크인 크랭크의 회전운동을 통해 출력링크인 로커가 왕복운동을 하며 링크의 길이가 고정되어 있는 경우 출력링크의 구동각도가 정해지는 기존 링크기구의 특징을 나타낸다. 따라서 로커의 최소 회전각( $\theta_{\min} : \pi - \theta_1$ )과 최대 회전각( $\theta_{\max} : \pi - \theta_2$ )의 차이가 출력링크의 최대 구동각( $\theta$ )이 되며 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다 [5].

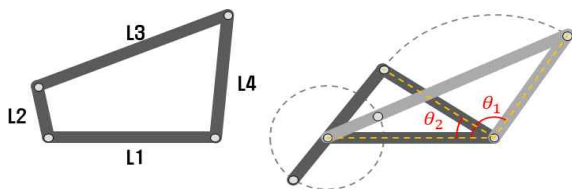


그림 1. 4절 링크기구 최대 구동각도  
Figure 1. Maximum rotational angle of 4-bar linkage

$$\theta = \theta_{\max} - \theta_{\min} = \theta_1 - \theta_2$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left[ \frac{L1^2 + L4^2 - (L3 + L2)^2}{2L1L4} \right]$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left[ \frac{L1^2 + L4^2 - (L3 - L2)^2}{2L1L4} \right] \quad (1)$$

그림 2는 링크 길이 변형에 따른 출력링크의 구동각도 변화를 나타낸다. 식 (1)과 같이 링크기구의 움직임은 링크의 길이에 영향을 받으므로 4절링크를 구성하고 있는 링크 한 개의 길이라도 달라지면 출력링크의 최종 구동각도는 증가하거나 감소하게 된다. 하지만 모든 링크는 강체이기 때문에 출력링크의 구동각도를 선택적으로 제어하기 위해서는 하나의 구동각도마다 개별 4절링크를 추가해야 한다. 이러한 4절링크 특징이 다양한 구동 기능과 소형화가 요구되는 최근 기계제품 트렌드에 한계점으로 작용되어 효율이 떨어지고 있다.

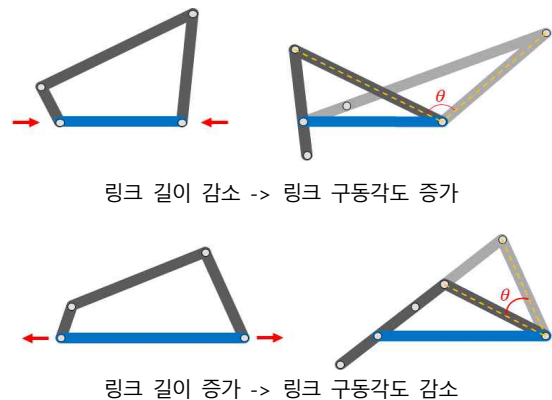


그림 2. 링크 길이에 따른 구동각도 변화  
Figure 2. Changes of turning angle as variation of linkage length

### 2. 가변형 4절 링크기구

그림 3은 하나의 링크 구조에서 상황에 맞게 출력링크의 구동각도를 조절할 수 있도록 제안된 가변형 4절링크기구의 개념도를 나타낸다. 기구학적으로 링크 길이란 링크와 링크를 연결하는 각 조인트 사이의 거리를 의미한다. 따라서 하나의 조인트 위치를 움직여 조인트 사이의 거리를 줄이거나 늘이면 링크 형상은 변하지 않더라도 실제 거동에 영향을 주는 링크 길이는 변경된다. 따라서 링크기구를 추가하지 않고도 상황에 따라 선택적인 기계적 구동이 가능하게 되므로 기존 4절링크의 기구학적 한계점을 극복할 수 있다.

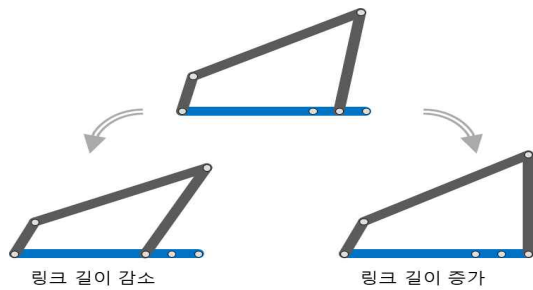


그림 3. 가변형 4절링크 메커니즘 개념도  
 Figure 3. Conceptual diagram of the variable linkage mechanism

위 개념을 바탕으로 링크 길이를 제어하기 위한 방법을 그림 4에 나타내었다 [6]. 그림 4(a)는 랙 앤 피니언 구조로 고정된 피니언이 회전하면 랙이 좌우 직선 운동을 하는 장치이다. 이것을 통해 조인트를 좌우로 움직이면 링크 길이가 변경된다. 그림 4(b)는 가이드 레일 구조로 레일 위에 있는 물체를 정해진 경로로 좌우로 이동시키고 원하는 위치에 고정시키는 구조이다. 따라서 레일과 연결된 조인트를 좌우로 이동시켜 링크 길이를 조절할 수 있다. 캠을 이용한 길이 조절장치가 그림 4(c)에 나타나 있다. 캠 구동부의 회전운동에 의해 종동부의 형상대로 물체가 움직이며 캠의 윤곽이나 캠 내부에 위치한 홈의 형상에 따라 다양한 운동이 가능하므로 링크와 연결된 조인트를 움직이게 할 수 있다. 제시된 다양한 방법들 중에서 제품의 상황에 맞는 링크 길이 조절 방법을 선택하여 가변형 링크기구 설계를 진행할 것이다.

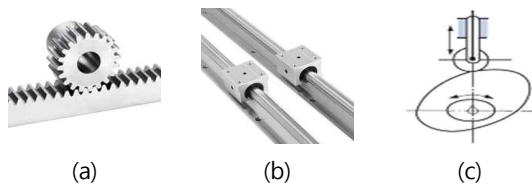


그림 4. 일반적인 링크 길이 조절 방법 (a) 랙 앤 피니언 (b) 가이드 레일 (c) 판 캠  
 Figure 4. Conventional methods to control the linkage length (a) rack and pinion (b) guide rail (c) plate cam

### III. 결과 및 토론

#### 1. 선풍기의 회전 구동원리

일반적으로 선풍기는 회전각도가 하나로 고정되어 있기 때문에 필요한 공간에만 선택적으로 바람을 보낼

수 없어서 효율적이지 못하다. 최근 회전각도를 연속적으로 제어하는 방법이 제안되었지만 무수히 많은 회전 단계를 제어하기 위해 회전구동부에 센서나 모터 같은 장치를 추가해야 하므로 선풍기와 같이 대중적인 제품에 사용하기엔 무리가 있다 [7]. 따라서 선풍기 효율을 향상시키기 위해 복잡한 제어장치 없이 상황에 맞게 좌우 회전범위를 조절할 수 있는 기능이 요구되고 있다.

선풍기 회전각도를 선택적으로 조절하기 위해 먼저 선풍기의 회전 구동원리를 분석하였다. 현재 사용되고 있는 선풍기는 그림 5(a)와 같이 크게 헤드(날개)와 모터 동력전달부 및 목과 스탠드를 포함하는 몸체 부분으로 구성되어 있다 [8]. 또한 동력전달부와 몸체는 회전 구동부로 연결되며 회전구동부에 위치한 링크기구의 상대운동에 의해 바람 방향이 조정된다. 링크기구는 총 4개의 링크로 구성되어 있으며 각각의 링크는 헤드와 모터 및 몸체와 연결되며 모터의 회전운동을 헤드의 좌우 반복운동으로 전달한다. 여기서 링크 1은 그림 5(b)와 같이 구동부 하우징에서 두 개의 돌출부 사이의 거리를 나타내며 선풍기 회전 시 위치가 고정되어 있으므로 프레임 역할을 담당한다.

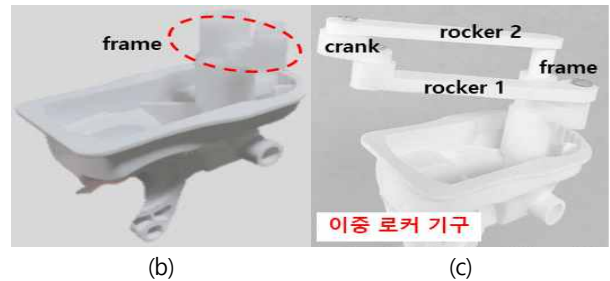
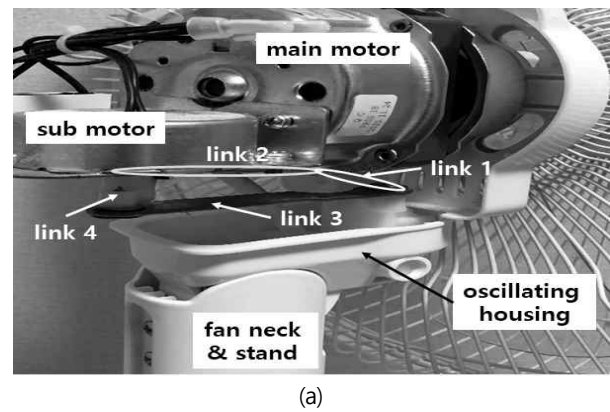


그림 5. (a) 선풍기 회전 구동부 (b) 구동부 하우징 (c) 가상 링크 모식도  
 Figure 5. (a) driving unit of table fan (b) oscillating housing (c) schematic drawing of linkage mechanism

4절 링크기구에 의한 선풍기의 회전 구동원리를 설명하기 위해 그림 5(c)와 같이 가상의 링크를 추가한 하우스징 형상을 제작하였다. 실제 선풍기에서 동력전달부의 메인 모터는 날개만 회전시키며 선풍기 헤드 전체의 좌우회전은 서브 모터가 담당한다. 이 때 서브 모터와 연결된 링크 3의 360° 회전운동을 통해 링크 2는 일정한 각도로 반복운동을 하게 되며 링크 2와 연결된 헤드의 바람 방향이 조절된다. 따라서 선풍기 회전구동부에 위치한 4절 링크기구는 로커 2개와 크랭크 1개, 프레임 1개로 이루어진 이중 로커 구조이며 입력링크인 크랭크의 회전운동으로 출력링크인 로커가 반복운동을 하게 된다. 이 때 선풍기의 좌우 회전각도는 로커의 최대 회전각과 최소 회전각의 차이인 최대 로커 구동각을 의미하며 식 (1)을 통해 구할 수 있다.

하지만 기존 선풍기 회전구동부의 이중 로커 기구는 각각의 링크 길이가 정해져 있기 때문에 회전범위가 선택적으로 조절되지 않는다. 또한 모터나 센서와 같은 추가 제어장치를 통해 회전단계를 제어하는 방식은 제품 설계비용이 증가하고 기존 제품에 적용할 수 없어 상용화에 한계가 있다. 따라서 기존 4절링크의 기구학적 방식을 그대로 유지하면서 선풍기의 회전각도가 조절될 수 있도록 본 논문에서 제시한 가변형 링크기구 개념을 적용하여 그 타당성을 확인하고자 한다.

## 2. 선풍기 효율을 고려한 회전각도 선정

가변형 4절 링크기구를 선풍기에 적용하기 위해서는 링크 길이를 변경하는 횟수 및 각 회전 단계마다 필요한 링크 길이 변형량 선정이 필수적이다. 이는 선풍기 바람을 효율적으로 보내기 위한 최소 회전각도와 관련이 있으며 회전각도에 따른 바람 도달 영역 및 최소 회전단계에 관한 연구 결과를 그림 6에 나타내었다 [9]. 정지 상태에서의 선풍기 바람은 그림 6(a)와 같이 일정한 각도(정지풍향각,  $a$ )로 뿜어져 나오며 선풍기 회전각도가 정지풍향각에 비해 크거나 작으면 바람이 과회전(b)되거나 중첩(c)되는 문제가 발생한다.

따라서 그림 6(d)와 같이 단계마다 정지풍향각  $a$ 의 2배 만큼 회전범위가 커질 때가 가장 효율적이며 선행 연구 실험 결과 정지풍향각이 22.5°이므로 가장 효율적인 회전범위는 45°가 된다. 따라서 선풍기가 3단계 회전범위(45°, 90°, 135°)를 가질 수 있도록 가변형 링크기구를 설계하고자 한다.

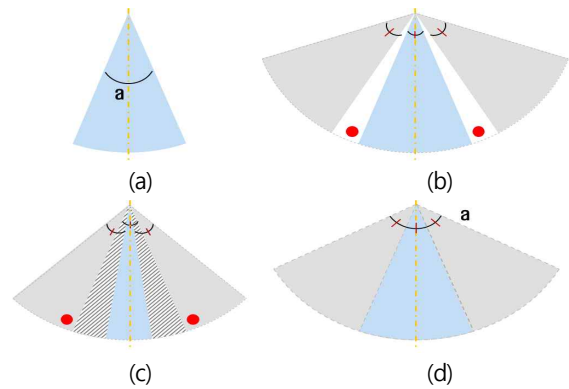


그림 6. 회전각도에 따른 바람 영역 (a) 정지풍향각 (b) 과회전 (c) 중첩 (d) 최적 회전각도

Figure 6. Wind area according to the turning angle (a) stationary wind direction angle (b) overlapping (c) excessively turning (d) optimal rotation angle

## 3. 가변형 링크 기구 설계

선풍기가 여러 단계의 회전구간을 갖기 위해서는 회전구동부에 위치한 4절 링크기구의 특정 링크의 길이를 조절해야 한다. 하지만 선풍기 헤드 회전 시 프레임용 제외된 나머지 3개 링크는 이중 로커 기구의 거동을 하게 되므로 링크 형상이나 길이를 변경하게 되면 다른 내부 부품과 간섭이 발생할 수 있다. 대신 프레임 링크는 항상 구동부 하우스징에 고정되어 있으므로 형상 변형이 상대적으로 간단하며 하우스징 내부 공간에 여유가 있어 길이 조절을 위한 장치 설치에 용이하다. 따라서 본 논문에서는 가변형 링크기구 구현을 위해 프레임 링크의 형상을 변경하고자 한다.

선행연구에서 구한 선풍기의 3단계 회전각도를 구현하기 위해 필요한 단계별 프레임 길이는 식 (1)을 이용하여 구할 수 있으며 계산 결과를 그림 7(a)에 나타내었다. 하지만 그림 7(a)에서 보듯이 1단계(45°)에서 2단계(90°)로 회전각도가 변할 때의 링크 길이 변화량과 2단계(90°)에서 3단계(135°)로의 변화량이 다르며 조절 범위도 급격히 작아진다. 즉 각 회전 단계별 필요한 프레임 링크의 길이 변화가 선형적으로 이루어지지 않기 때문에 단계마다 길이 조절 장치를 미세하게 조정해야 한다. 하지만 랙 앤 피니언이나 가이드 레일 방법은 구조상 1:1 길이 변화만 가능하므로 회전구간 선정을 위한 조작에 문제가 생길 수 있다. 따라서 그림 7(b)와 같이 프레임 링크와 원통캠을 연결하여 캠의 회전 운동으로 프레임의 길이가 조절되게 하였다. 각 단계마다 캠축이 일정한 각도(90°)로 회전되게 하여 조작을 용이하게

하였으며 연결된 프레임 링크의 길이가 다르게 변화할 수 있도록 원통캠의 지름 및 적절한 궤적을 가지는 홈 (groove)을 설계하였다.

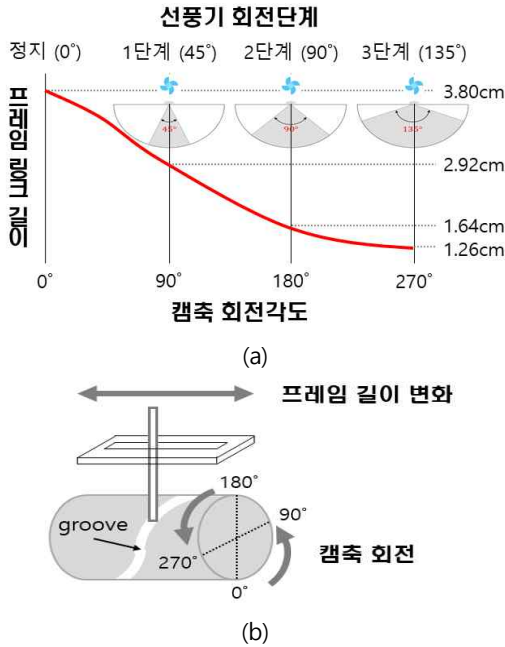


그림 7. (a) 회전각도에 따른 필요 프레임 길이 (b) 원통캠  
 Figure 7. (a) required frame lengths according to 3 levels of turning angle (b) grooved cylindrical cam

그림 8(a)는 프레임 길이를 조정하기 위해 설계된 가변형 링크 장치의 모델링 형상 및 작동 원리를 나타낸다. 프레임 길이가 조절될 수 있도록 그림 5(b)의 기존 구동부 하우징에 있던 프레임 뒷부분을 제거하였으며 슬라이딩부와 원통캠을 포함한 운동전환부를 추가하였다. 또한 원통캠의 홈과 슬라이딩부의 돌출 부분이 맞물리게 하여 원통캠의 회전운동을 슬라이딩부의 직선 운동으로 전환되게 하였다. 로커 1은 슬라이딩부의 지점 A와 연결되며 로커 2는 기존 하우징의 지점 B와 결합되어 있다. 운동전환부의 다이얼 손잡이를 돌리면 원통캠이 회전하게 되고 연결된 슬라이딩부에 형성된 돌기가 원통형 캠의 홈을 따라 움직인다. 이 때, 슬라이딩부와 연결된 지점 A가 이동하게 되며 고정된 지점 B와의 상대적인 거리가 멀어지거나 가까워지게 되므로 프레임 길이가 조절되는 효과가 발생하게 된다. 또한 그림 8(b)와 같이 개선된 하우징에 가상 링크를 추가 제작하여 링크 길이 조절을 위한 가변형 링크 장치의 작동 여부를 확인하였다. 그림 8(c)는 가변형 링크기구가

추가된 최종 선풍기 형상을 나타낸다. 기존 선풍기 구성품의 추가 수정 없이 가변형 링크기구를 포함한 개선된 구동부 하우징이 몸체와 동력전달부 사이에 부착되어 있다.

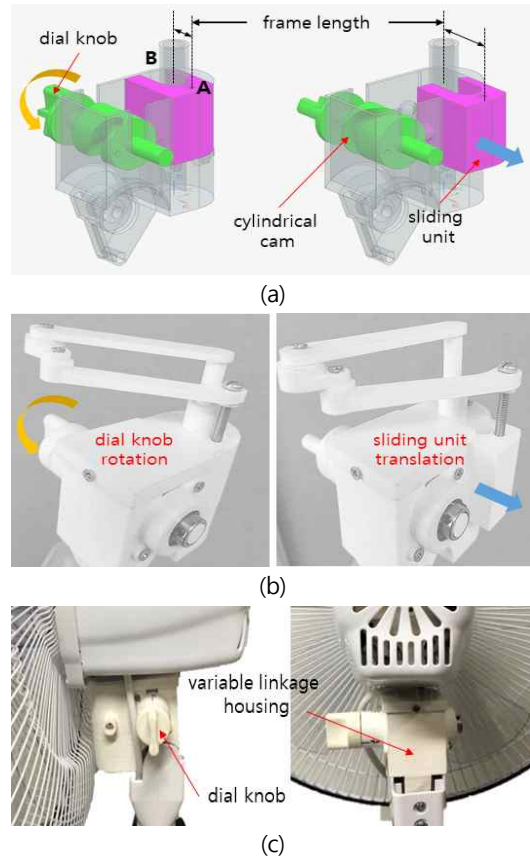


그림 8. (a) 가변형 링크 장치 작동 원리 (b) 링크 길이 조절을 위한 개선된 하우징 (c) 가변형 링크기구 조립 형상  
 Figure 8. (a) operation principle of the variable linkage system (b) modified housing for variable linkage (c) real images of finally assembled variable linkage system

그림 9는 원통캠 회전에 의한 프레임 길이 변화 및 선풍기 회전각도 측정 결과를 나타낸다. 운동전환부의 선풍기 회전범위가 총 3단계이므로 원통캠이 90° 회전할 때마다 각 단계별 필요한 만큼 프레임 길이가 변경되도록 원통캠의 지름과 홈 형상을 설계하였다. 또한 원통캠의 다이얼과 홈에 요철을 만들어 특정 회전단계에서 회전 중 슬라이딩부의 경로 이탈을 방지하였다. 다이얼 손잡이를 회전시키면 원통캠 회전에 의해 프레임 길이가 각각 2.92cm, 1.64cm, 1.26cm로 변경되며 달라진 프레임 길이에 의해 회전구동부를 구성하는 이중 로커 기구의 출력링크가 각 단계마다 45°, 90°, 135°의

최대 구동각을 가지게 된다. 실제 가변형 링크기구가 조립된 최종 선풍기가 각 회전 단계마다 최대 방향까지 회전한 모습을 측정하였으며 원통캠에 의한 프레임 길이가 적절히 조절되어 각각의 회전범위가 잘 나누어진 것을 확인하였다.

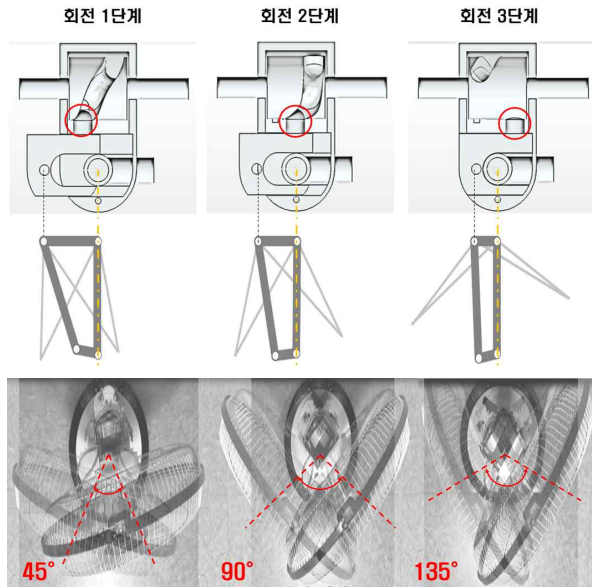


그림 9. 원통캠 회전에 의한 프레임 길이 변화 및 선풍기 구간별 회전각도 측정  
 Figure 9. Frame length changes according to the cylindrical cam rotation and measurement of fan turning angle in the selective range

#### IV. 결 론

본 연구에서는 원하는 상황에 맞게 출력링크의 움직임을 조절할 수 있도록 링크 길이가 변경되는 가변형 링크기구를 설계하였으며 4절링크를 이용한 제품인 선풍기에 적용하여 그 타당성을 검증하였다. 바람을 가장 효율적으로 보내기 위한 공간 분할 선행연구를 통해 선풍기 회전각도를 3단계(45°, 90°, 135°)로 설정하였으며 원통캠을 포함한 가변형 링크 장치를 설계하여 각 단계별 필요 프레임 길이를 구현하였다. 또한 실제 제작을 통해 캠의 회전운동으로 흡과 연결된 프레임 길이 및 선풍기 회전각도가 조절되는 것을 확인하였다.

이러한 가변형 4절 링크기구는 구동에 필요한 공간이 작아 소형제작이 가능하므로 기존 제품에 손쉽게 적용될 수 있다. 또한 사용 중 기계적 제어만으로 링크 길이 변환과 각도 조절이 가능해 작업의 연속성을 가진다.

따라서 본 논문에서 제시한 가변형 링크기구는 산업현장의 로봇이나 자동차의 가변 연료 밸브 시스템 등 현재 4절링크가 직접 사용되는 있는 곳에 적용시킨다면 구동 가용 범위가 한층 넓어져 효율성을 극대화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

- [1] B. Baykus, E. Anli and I. Ozkol, "Design and Kinematic Analysis of a Parallel Mechanism to be Utilized as a Luggage Door by an Analogy to a Four-Bar Mechanism," *Engineering*, Vol. 3, No. 4, pp. 411-421, 2011.
- [2] S.H. Im, D.H. Lee, H.C. Kang and S.H. Kim, "Multi-legged Walking Robot Using Complex Linkage Structure," *J. of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 20, No. 11, pp. 74-79, 2021.
- [3] H.S. Yan and G.J. Yan, "Integrated control and mechanism design for the variable input-speed servo four-bar linkages," *Mechatronics*, Vol. 19, pp. 274-285, 2009.
- [4] M. Salah, A. Al-Jarrah, E. Tatlicioglu and S. Banihani, "Robust Backstepping Control for a Four-Bar Linkage Mechanism Driven by a DC Motor," *J. of Intelligent and Robotic Systems*, Vol. 94, pp. 327-338, 2019.
- [5] J.J. Uicker, G.R. Pennock and J.E. Shigley, "Theory of Machines and Mechanism, 4/e," ITC, 2012.
- [6] A.G. Erdman, "Mechanism Design, Analysis and Synthesis," Prentice-Hall, 2017.
- [7] W.R. Cho, J.H. Lee and D.Y. Oh, "Artificial Intelligence Smart Fan That Follows People's Position," *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, Vol. 24, No. 2, pp. 820-823, 2017.
- [8] C.R. Sanghani, "Modification of Oscillating Mechanism of Table Fan for Throwing Air 360°," *International J. of Mechatronics and Automation*, Vol. 3, No. 1, pp. 10-13, 2016.
- [9] S.H. Kim, "User-friendly adjustable table fan with selective rotation angles," *J. of the Convergence on Culture Technology*, Vol. 8, No. 2, pp. 53-58, 2022.

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