

# 비포장 노면 주행을 위한 스케이트보드의 조향제어기구 설계

심한섭\*

(논문접수일 2004. 8. 23, 심사완료일 2005. 3. 23)

## Design of a Steering Control Mechanism for a Skateboard on Off-road Driving

Hansub Sim\*

### Abstract

Driving performance is affected by a steering mechanism and characteristics of the ground at off-road skateboarding. In order to drive on off-road, it is necessary off-road wheel and high performance steering mechanism to adapt on various configuration of the ground. In this paper, design factors are studied to affect to steering radius such as inclination angle of a king-bolt, distance of a wheel axle, and rolling angle of a deck plate. A steering system is adhered to inclination face of the deck plate. And, inclination angle is existed between the king-bolt and the flat face of the deck plate. Therefore, the wheel axle of the steering system can be steered by control of the rolling angle of the deck plate.

**Key Words** : Skateboard(스케이트보드), Steering Mechanism(조향기구), Steering Radius(회전반경), Steering Angle(조향각도), Wheel-axle(휠축), King-bolt(킹볼트)

## 1. 서 론

최근 국민 생활수준 향상과 주5일 근무제의 확산으로 건강한 심신의 단련과 더불어 건전한 여가활용을 위한 레저/스포츠에 대한 관심과 욕구가 꾸준히 증가하고 있으며, 이와 관련된 스포츠장비도 활발히 보급되고 있다<sup>(1)</sup>. 그 중에서 최근에 급격히 활성화되고 있는 스노우보드(snowboard), 스케이트보드(skateboard), 인라인 롤러스케이팅(inline roller-skate), BMX(bicycle moto-cross) 등의 엑스게임(X- game)은 극

한 스포츠(extreme sports)의 분야로서 고성능 스포츠 장비를 활용한 고난도 기술을 이용하여 극한 상황을 체험하는 스포츠이다<sup>(2)</sup>. 특히, 젊은이들이 많이 사용하고 있는 스케이트보드는 스노우보드의 대체훈련장비로도 활용되고 있으며, 고경도-소형바퀴를 사용하기 때문에 전용경기장(X-game park) 및 포장된 지면에서만 사용이 가능하다. 전용경기장은 비포장 및 산악지형과 장비의 사용 환경이 근본적으로 상이하며, 충분한 체력단련과 극한상황을 체험할 수 있는 기회가 제한적이므로, 비포장 또는 일부 산악지형에서도 사용할 수 있는

\* 진주산업대학교 자동차공학과 (hansub@jinju.ac.kr)  
주소: 660-758 경남 진주시 칠암동 150번지

장비의 개발이 필수적이다. 스포츠 분야에 대한 연구는 주로 운동화적인 측면이나 건강, 의학 및 사회학적인 측면에서 이루어져 왔다<sup>(3,4)</sup>. 스포츠장비의 설계, 제조, 시험 및 평가 등의 대부분의 생산공정이 기계공학에 의존하고 있으며, 산업-경제적인 파급효과가 상당함에도 불구하고 국내의 경우 제조 및 이용에 관한 공학적 연구결과들은 많지 않다. 일반적으로 스케이트보드, 스키 및 스노우보드 등은 보드판을 좌우로 기울여 회전반경을 제어하며, 매우 간단한 구조의 조향기구로서 우수한 조향성능을 발휘하고 있다. 고성능의 조향기구에는 비포장 지형을 주행할 수 있는 자전거, 오토바이, 자동차 등에서 많이 연구되어 왔으나<sup>(5,6)</sup>, 스케이트보드와 유사한 소형-경량의 스포츠장비에 적용하기에는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 비포장 및 일부 산악 지형에서도 사용 가능한 스케이트보드의 회전반경을 제어하여 주행경로를 결정하는 조향기구 설계과정에서 회전반경에 영향을 미치는 설계인자들을 분석하고, 비포장로면 주행을 위한 스케이트보드 설계/제조를 위한 기본자료로 활용하고자 한다.

## 2. 주행 역학과 회전반경

### 2.1 주행역학과 회전반경

스케이트보드는 보드판 밑면에 4개의 바퀴가 달려 있으며, 별도의 동력 공급없이 단지 체중과 장비무게 만으로 고난도의 기술, 방향전환 및 중력을 이용하여 극한상황을 체험하는 스포츠장비이다. 사용자와 스케이트보드가 중력에 의하여 각도가  $\theta$ 인 경사면을 따라 하향 주행할 때, 작용하는 힘은 Fig. 1과 같이 표시할 수 있다. 연직방향으로 작용하는  $W$ 는 사용자와 스케이트보드의 무게이며,  $F_N$ 은 경사면에 수직으로 작용하는 힘이다. 그리고  $F_V (=W\sin\theta)$ 는 경사면을 주행하는 사용자 및 스케이트보드 속도에 영향을 미치는 힘이며,  $F_V$ 는  $\sin\theta$ 의 함수이므로 경사각도가 클수록 가속이 크다는 것을 알 수 있다.

스케이트보드의 주행 중에 특정한 곳으로 이동하거나 장애물을 회피하기 위하여 주행방향을 변경해야 하며, 이를 위하여 사용자는 스케이트보드의 회전반경을 제어할 수 있어야 한다. 다음 Fig. 2는 보드판의 전후면 조향기구(트릭)의 휠축에 바퀴가 각각 2개씩 결합된 스케이트보드의 회전반경, 휠축의 회전각도와의 관계를 보여주고 있다.

전후방 휠축의 중심거리가  $L$ 일 때, 휠축이  $\alpha_3$ 만큼 회전한 경우, 회전반경( $R$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R = \frac{1}{2} \frac{L}{\sin \alpha_3} \tag{1}$$

식 (1)에서 휠축 조향각도( $\alpha_3$ )와 회전반경( $R$ )은 서로 반비례 관계( $0\sim 90^\circ$  범위)에 있으므로 회전 각도가 클수록 선 회전반경이 작아진다. 또한 휠축거리( $L$ )는 선회반경과 비례하므로 휠축거리가 작을수록 회전반경이 작아진다. 이러한 관점에서 볼 때 휠축거리가 작은 스케이트보드가 휴대하기에 편리하고 방향전환에도 유리하지만, 회전반경이 너무 작아지면 고속주행 시에 보드판이 좌우로 심하게 흔들리면서 (rolling and yawing) 안정성이 떨어질 우려가 있다. 스케이트보드가 방향전환을 위하여 일정한 속도로 회전하고 있을 때 Fig. 3과 같이 원심력과 구심력이 발생하며 이들의 균형으로 사용자는 안정적으로 방향을 전환할 수 있다.

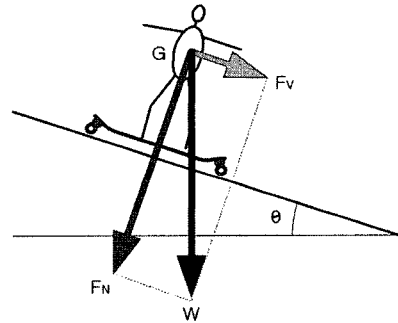


Fig. 1 Angle of inclination and various forces on skateboarding

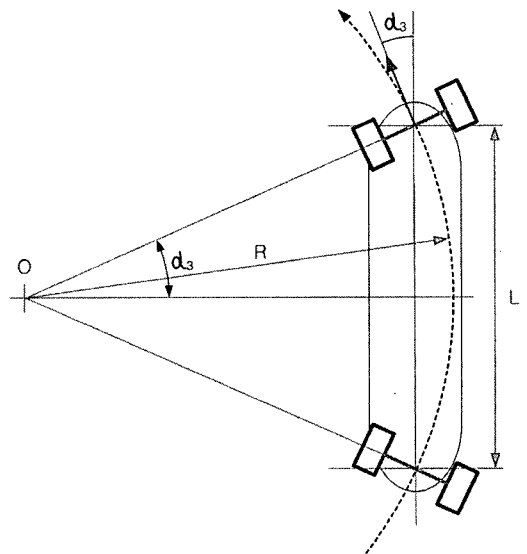


Fig. 2 Steering mechanism of skateboard

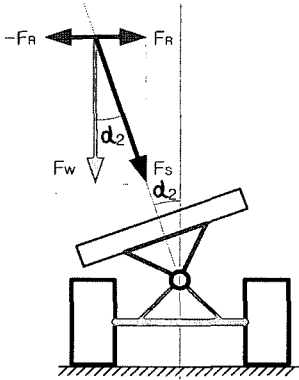


Fig. 3 Balance of force at curving

회전운동에서 원심력과 구심력은 다음 식 (2)과 같이 균형을 이루어야 한다.

$$F_R = -F_R \quad (2)$$

사용자 및 스케이트보드에 작용하는 원심력, 그리고 구심력과의 관계는 다음 식 (3)과 같다.

$$F_S = F_W + F_R \quad (3)$$

### 2.2 일반적인 스케이트보드의 조향기구

일반적으로 많이 사용되는 스케이트보드는 보드판 아래에 4개의 소형바퀴가 전후방 조향기구(truck)에 결합되어 있는 구조이며, 기본구조는 다음 Fig. 4와 같다.

휠축(wheel-axle)은 보드판의 수평면 하부 전후방에 1개씩 설치되어 있고, 휠축의 한쪽 피봇(pivot)은 받침대(base plate) 홈에 조립되며, 다른 한쪽은 상하부에 완충고무(rubber)와 함께 킹핀(king-pin)으로 결합되어 있다. 보드판의 좌우 경사에 따라 휠축은 피봇과 휠축이 킹핀에 결합된 중심의 연장선인 회전중심(rotation center)을 기준으로 좌우로 기

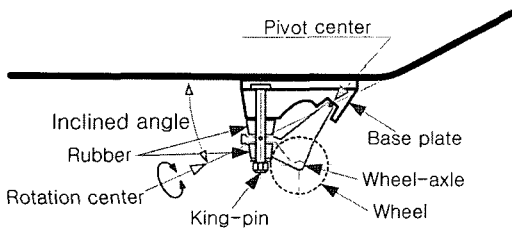


Fig. 4 General configuration skateboard truck

어진다. 따라서 회전중심의 경사각도와 완충고무(rubber)의 탄성 및 결합 정도에 따라 휠축 조향각도와 경사각이 달라진다.

### 3. 조향기구와 회전반경 결정인자

#### 3.1 조향기구의 구조

이 연구에서 설계한 스케이트보드의 조향기구는 Fig. 4의 일반적인 스케이트보드와 달리 다음 Fig. 5와 같이 보드판의 전후경사면 하부에 조향기구를 장착된 구조이다. 조향기구는 Fig. 6과 같이 위쪽 받침대(bracket)와 바퀴가 결합된 하부 휠축으로 구성되며, 킹볼트(king-bolt)로 결합되어 사용하는 체중과 발을 이용하여 보드판을 좌우로 기울일 수 있다. 또한 킹볼트의 양쪽에는 완충장치를 장착하여 보드판의 복원 및 주행안정성을 향상시킨 구조이다.

#### 3.2 회전반경 결정 인자

비포장로면 및 산악지형 주행을 위한 스케이트보드의 조향기구의 조향원리를 간략히 그림으로 나타내면 Fig. 7과 같다. 조향기구는 측면도와 같이 보드판의 전후 경사면에 부착되며, 위쪽 받침대와 하부 휠축은 킹볼트로 결합되어 회전할 수 있고, 보드판의 수평면과 일정한 경사각( $\alpha_1$ )을 이루고

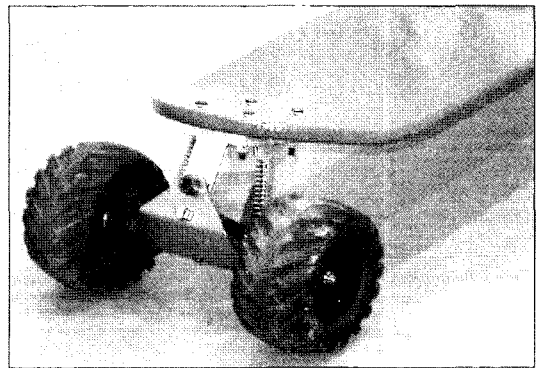


Fig. 5 Steering mechanism of off-road skateboard

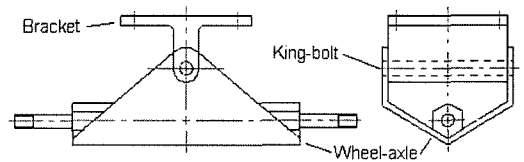


Fig. 6 Drawing of steering mechanism

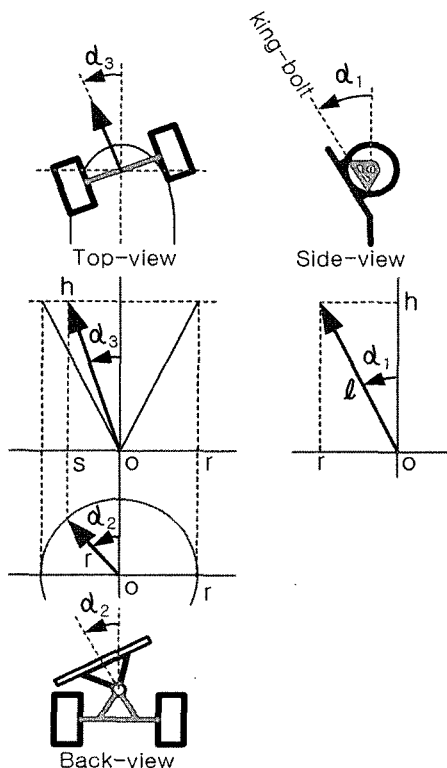


Fig. 7 Steering angle of wheel-axle

있다. 이 킹볼트 경사각( $\alpha_1$ )에 의하여 보드판이 좌우로 기울어질 때 조향기구의 휠축이 좌우로 회전될 수 있기 때문에 주행방향을 제어 할 수 있다.

조향기구에서 단위길이( $l=1$ )의 킹볼트가 측면도와 같이 보드판의 수평면과 임의의 경사각( $\alpha_1$ )을 이루고 있다면 보드판의 좌우경사에 대하여 킹볼트 끝의 회전반경( $r$ )은 식 (4)과 같이 구할 수 있다.

$$r = l \cdot \sin \alpha_1 \quad (4)$$

사용자가 스케이트보드의 방향전환을 위하여 후면도와 같이 보드판을 좌측으로 경사각( $\alpha_2$ ) 만큼 기울였다면, 평면도에서 킹볼트는 휠축 회전각( $\alpha_3$ ) 만큼 회전한다. 이때 반지름 방향의 거리를  $s$ 라고 하면,  $s$ 의 크기는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$s = r \cdot \sin \alpha_2 \quad (5)$$

또한 삼각형 “o-s-h”에서 높이( $h$ )는 측면도의 높이( $h$ )와

같으므로  $h$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$h = l \cdot \cos \alpha_1 \quad (6)$$

따라서 top-view에서 휠축의 회전각도( $\alpha_3$ )는 다음 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_3 = \tan^{-1}\left(\frac{s}{h}\right) \quad (7)$$

식 (7)에서  $s/h$ 에 관해서 정리해 보면, 식 (4) ~ (6)으로부터 다음과 같이 계산 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{s}{h} &= \frac{r \cdot \sin \alpha_2}{l \cdot \cos \alpha_1} \\ &= \tan \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2 \end{aligned} \quad (8)$$

다시, 식 (8)을 식 (7)에 대입하면, 휠축의 회전각도는 다음 식 (9)과 같이 정리할 수 있다. 또 보드의 회전반경( $R$ )과 휠축의 회전각도( $\alpha_3$ )의 관계식 (3)을 다시 정리하면 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha_3 = \tan^{-1}(\tan \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2) \quad (9)$$

$$R = \frac{1}{2} \frac{L}{\sin \{ \tan^{-1}(\tan \alpha_1 \cdot \sin \alpha_2) \}} \quad (10)$$

식 (9) 및 식 (10)으로부터 보드의 회전반경( $R$ )은 휠축간 거리( $L$ ), 킹볼트의 경사각( $\alpha_1$ ), 보드판의 좌우 회전각( $\alpha_2$ )의 함수임을 알 수 있다. 식 (2), Fig. 2 및 Fig. 3으로부터 원심력과 구심력이 균형을 유지하면서 안정적인 방향전환이 가능하려면 보드판이 회전중심 안쪽으로 기울어져야 되며, 조향기구의 휠축은 스케이트보드의 회전중심을 지향하도록 움직여야 된다는 것을 알 수 있다. 이러한 성능을 만족시키기 위하여 전면조향장치의 킹볼트는 보드판 상부방향(Fig. 7의 측면도에서 화살표와 같은 반시계방향)쪽으로 경사각을 가져야된다. 즉, 식 (9)에서  $\tan \alpha_1$  이 양(+)의 값으로 일정할 때, 휠축의 회전각( $\alpha_3$ )은 보드판의 좌우경사각( $\alpha_2$ )의 방향과 같은 방향으로 회전하는 것을 알 수 있으며,  $\tan \alpha_1$  값이 음(-)일 때는 휠축의 회전각( $\alpha_3$ )은 보드판의 좌우경사각( $\alpha_2$ )의 방향과 반대 방향으로 회전한다는 것을 의미한다. 또한, 식 (9)에서  $\tan \alpha_1$ 의 값은 킹볼트의 경사각도  $0^\circ$ 를 기준으로 대칭값을 가지므로 Fig. 7의 측면도의 화살표방향(보드판의 상부쪽)과 반대방향의 경사각을 같다면 조향기구의 휠축은 전면과 반대방향으로 회전하게 될 것이다. 마찬가지로, 후면조향장치의 킹볼트 경사각의 경우에는  $\tan \alpha_1$  값이 킹볼트

트의 경사각도 0°를 기준으로 대칭값을 가지므로 전면조향 장치와 대칭으로 보드판 상부방향(Fig. 6의 측면도에서 화살표방향과 다른 반시계방향)쪽으로 설계될 필요가 있다. 따라서 전후양면의 조향기구가 대칭으로 설계된 스케이트보드는 전면 또는 후면의 한쪽부분에만 킹볼트 경사각( $\alpha_1$ )있고 다른 쪽은 킹볼트 경사각이 없는 경우( $\alpha_1=0^\circ$ )의 스케이트보드에 비하여 회전반경이 1/2로 작아진다.

### 3.3 조향장치 복원력과 주행 안정성

방향전환을 완료한 후에 사용자는 체중과 발을 이용하여 보드판을 수평으로 유지하여 직진상태를 유지할 수 있다. 이때 보드판을 수평으로 유지하고 보드판이 쉽게 좌우로 기울어지지 않게 하기 위하여 Fig. 8과 같이 킹볼트의 양쪽에 스프링을 설치하면 복원력과 직진주행시의 안정성을 높일 수 있다. 보드판 및 한쪽 스프링에 작용하는 힘(복원력)과 모멘트는 다음 식 (11) 및 식 (12)과 같다.

$$F_S = k \cdot x \tag{11}$$

$$F_W \cdot L_W = F_S \cdot L_S \tag{12}$$

식 (11)과 식(12) 으로부터 복원 스프링의 강도(k)를 조절하거나, 스프링의 설치거리(Ls)를 변경함으로써 복원력과 안정성 조절이 가능함을 알 수 있다. 즉, 스프링 강도와 설치거리를 증가시키면 복원력이 커져서 안정성이 높아진다. 스프링 강도와 설치거리가 너무 작으면 보드판이 좌우로 쉽게 기울어지며 방향전환이 용이하나, 고속주행시에 보드판의 경사변동이 심해져서 안정성이 감소될 우려가 높다.

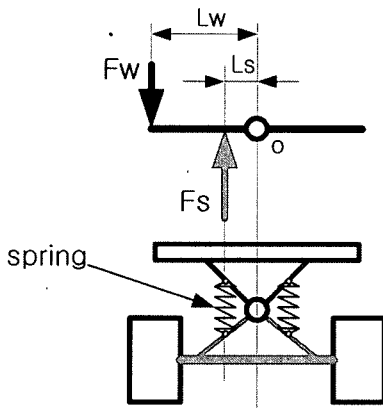


Fig. 8 Balance of user's weight and spring force

## 4. 결과

비포장 또는 일부 산악지형에서도 사용할 수 있는 스케이트보드의 조향기구의 설계를 위하여 조향각도 및 회전반경에 영향을 미치는 인자들에 대한 관계식 (9)와 식 (10)에 대하여 계산 결과를 Fig. 9와 Fig. 10의 그래프에 나타내었다. 계산 조건은 휠축간거리(L)가 1m이며, 킹볼트 경사각( $\alpha_1$ )은 0°~40°까지 10° 간격이며, 보드판의 좌우 경사각( $\alpha_2$ )은 좌우 각각 30°씩 기울어지는 것으로 가정하였다.

Fig. 9는 보드판의 좌우경사각( $\alpha_2$ )에 따라 휠축의 조향각( $\alpha_3$ ) 변화를 표시하였다. 휠축의 조향각은 보드판 좌우경사각 증가에 대하여 거의 선형적으로 변화되고 있으며, 킹볼트 경사각( $\alpha_1$ )이 0°인 경우에는 킹볼트가 보드판에 대하여 수평

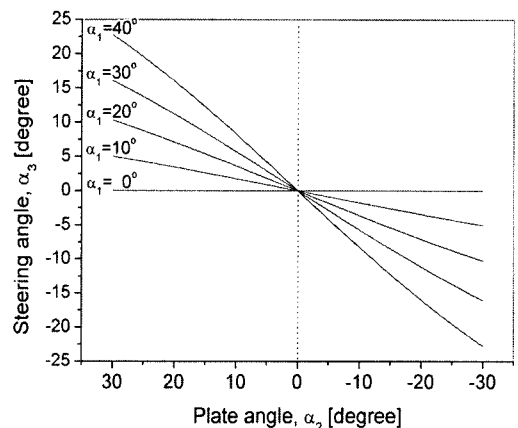


Fig. 9 Steering angle of off-road skateboard

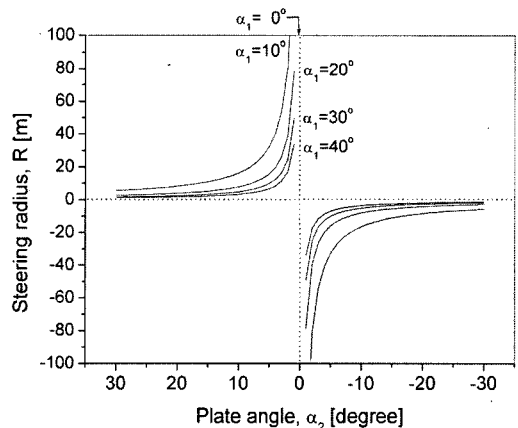


Fig. 10 Steering radius of off-road skateboard(L=1m)

으로 설치되어 있으므로, 조향각의 변화가 없기 때문에( $\alpha_3=0^\circ$ ) 방향전환이 불가능하여 조향기구의 효과가 없음을 알 수 있다. 킹핀의 경사각 증가에 따라 조향각도는 거의 비례적으로 증가하고 있음을 알 수 있으며,  $\alpha_1=30^\circ, 40^\circ$ 인 경우에는 선형성이 다소 작아지고 있다. 또한,  $\alpha_1=30^\circ, 40^\circ$ 의 경우 보드판의 좌우경사각( $\alpha_2$ )이 작은 구간(약  $\pm 15^\circ$  이하)에서 조향각이 다소 크게 변화됨을 알 수 있으며, 휠축조향각이  $\tan \alpha_1$ 의 함수이므로 킹볼트 경사각이 클수록 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 보드판의 좌우경사각( $\alpha_2$ ) 및 휠축의 조향각도( $\alpha_3$ )가 음(-)의 부호를 나타내는 것은 Fig. 6에서  $\alpha_2$  및  $\alpha_3$ 의 방향이 시계방향(우회전)으로 회전하였다는 것을 의미한다.

Fig. 10은 보드판의 좌우경사각( $\alpha_2$ )에 따라 회전반경의 증감을 나타낸 그래프이다. 회전반경은 좌우경사각 변화에 따라 비선형적으로 증감되고 있으며, 킹볼트 경사각( $\alpha_1$ )의 증가에 따라 회전반경은 작아져서 스케이트보드의 방향전환이 용이함을 알 수 있다. 킹볼트 경사각( $\alpha_1$ )이  $0^\circ$ 인 경우에는 회전반경의 변화가 없으므로( $R=\infty$ ) 방향전환이 불가능하여 조향기구의 효과가 없음을 알 수 있다. 킹볼트 경사각이 큰 경우( $\alpha_1=30^\circ, 40^\circ$ )에는 보드판의 좌우경사각 변화가 작더라도 회전반경이 급격히 감소하며, 보드판 좌우 경사각이  $10^\circ$  이상일 때는 회전반경의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 킹볼트 경사각이 큰 경우에 보드판이 좌우로 작게 기울어지더라도 회전반경이 급격히 변화되어 좌우경사각 변동이 빈번하므로, 고속주행에서 안정성을 높이기 위해서는 복원스프링의 강성을 증대시킬 필요가 있다. 고속주행 중에 체중을 회전중심 안쪽으로 이동을 이용하면서 보드판의 좌우경사각을 급격히 변화시키면서 직선운동을 회전운동으로 신속히 변화시킬 경우, 원심력이 바퀴와 지면 사이의 마찰력보다 커져서 사용자가 불안정해 지거나 미끄럼(slip) 현상이 발생할 것으로 예상된다.

## 5. 결 론

비포장 또는 일부 산악지형에서도 사용할 수 있는 스케이트보드의 조향각도 및 회전반경의 제어가 가능한 조향기구 설계를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 상부 받침대와 바퀴가 결합된 하부 휠축으로 구성되며, 보드판과 임의의 경사각을 갖는 킹볼트로 결합되는 조향기구에서 휠축의 조향각도와 회전반경에 영향을 미치는 설계인자들의 관계를 분석하였다.

- (2) 스케이트보드의 방향전환을 위한 회전에 원심력과 구심력에 의한 균형을 유지하기 위해서는 보드판이 회전중심 안쪽으로 기울어지고 전후방 휠축도 회전중심을 향해야하므로 전방 킹볼트의 경사각은 위쪽으로 기울어져야 되며, 후방 킹볼트의 경사각은 아래쪽으로 기울어지도록 설계되어야 한다.
- (3) 휠축의 조향각은 보드판의 좌우경사각에 따라 대략 선형적인 변화를 나타내었으며, 스케이트보드의 회전반경은 킹볼트의 경사각과 휠축거리가 증가할수록 감소하였다.
- (4) 스케이트보드의 회전반경은 킹볼트의 경사각이 큰 경우( $\alpha_1=30^\circ, 40^\circ$ )에 보드판의 좌우경사각 변화가 작더라도 회전반경이 급격히 감소하므로, 고속주행시에 보드판의 미소한 좌우경사에 대하여 회전반경이 급격히 변화되어 주행안정성을 떨어지므로 고속주행에서 안정성을 높이기 위하여 복원스프링의 강성을 증대시킬 필요가 있다.

## 참 고 문 헌

- (1) Lee, J. P., 2003, *Trends of 5-Days Working at a Week*, Book21 Ltd., pp. 34~47.
- (2) Kim, S. H., 2001, "Korean Extreme Sports (X-game) of Status and Activations," *Korean Society of Leisure and Recreation*, Vol. 21, No. 1, pp. 43~54.
- (3) Hyun, M. S., 1999, "The Kinematic Analysis of the Ski Turn," *Sports Science Study*, Vol. 20, No. 1, pp. 169~177.
- (4) Yoon, H. K., and Sim, S. S., 2000, "Comparative Study on the Present Situation and of Sports for All and Leisure Program of Youth between Korea and America," *Journal of the Korean Society of Sports and Leisure Studies*, Vol. 13, No. 1, pp. 177~186.
- (5) Hahn, C. S., Rhee, M. H., and Park H., 2002, "Development of Fuzzy Controller for Electric Power Steering Considering Steering Feel," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 11, No. 2, pp. 50~58.
- (6) Choi, D. H., and Hong, K. J., 1988, "Optimum Design for Reducing Steering Error of Rack-and-Pinion Steering Linkage," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 6, No. 2, pp. 43~53.