

# 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 개발

## Development of Physics Simulation for Augmented Reality Billiards Content

김 홍 직\*, 이 승 호\*\*

Hong-Jik Kim\*, Seung-Ho Lee\*\*

### Abstract

In this paper, we propose a physics simulation for augmented reality (AR) billiards content. The characteristics of the physics simulation for the proposed AR billiards content are as follows. First, physical equations are derived by calculating the force and moment of inertia applied to the billiards ball to realize the motion of the billiards ball similar to the real one in the AR environment. Then, we determine the velocity and angular velocity of the virtual billiards ball associated with the rotation of the virtual billiards ball with respect to the impact point. Second, using some vectors such as incident vector, normal vector, reflection vector, the trajectory of the virtual billiards ball would be implemented. These equations are applied to AR environment so that AR billiards content could be implemented. This physics simulation allows users to feel like the real world using a virtual pool table and induce them to interact with the real environment. As a result of the experiment, the accuracy range between the path of the real billiards ball and the path of the virtual billiards ball was calculated to be 97.75% to 99.11%. Therefore, it was determined that the performance of the physics simulation for the AR billiards content proposed in this paper performs similarly to the path of the real billiards ball.

### 요 약

본 논문에서는 증강현실(AR) 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션을 제안한다. 제안하는 증강현실 당구 콘텐츠에 대한 물리 시뮬레이션의 특징은 다음과 같다. 먼저, 증강현실 환경에서 실제와 비슷한 당구공의 움직임을 구현하기 위해 당구공에 적용되는 힘과 관성모멘트 계산을 하여 물리식을 도출한다. 다음에 타격 지점에 대한 가상 당구공의 회전과 관련된 가상 당구공의 속도와 각속도를 구한다. 다음으로, 가상 당구공의 움직임 궤적이 실제 당구공과 비슷한 움직임을 구현하기 위하여 입사벡터, 법선벡터, 반사벡터 등의 물리식을 도출하게 된다. 이러한 방정식을 증강현실 환경에 적용하여 AR 당구 콘텐츠를 구현할 수 있다. 이러한 물리 시뮬레이션은 사용자가 가상 당구대를 사용하여 실제와 유사함을 느낄 수 있도록 하며 실제 환경과 상호 작용하게 돕는다. 실험 결과 실제 당구공의 경로와 가상 당구공의 경로 사이의 정확도 범위는 97.75%~99.11%로 계산됐다. 따라서 본 논문에서 제안하는 증강현실 당구 콘텐츠에 대한 물리 시뮬레이션의 성능은 실제 당구공의 경로와 유사함을 확인하였다.

*Key words* : AR Billiards Content, Physics Simulation, Trajectory Estimation, Velocity, Angular Velocity

\* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

E-mail : shlee@cad.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1137

Manuscript received Mar. 31, 2022, revised May. 30, 2022, accepted Jun. 8, 2022.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

현재 5G 기술의 상용화와 사용할 수 있는 디바이스의 개선과 확산 등을 계기로 소비자가 증강현실이나 가상현실과 같은 실감콘텐츠를 더욱 실감나게 즐길 수 있는 환경이 마련되고 있다. 5G 기술의 상용화로 인해 소비자는 4G 대비 약 20배 빠르게 데이터 송수신을 할 수 있어 몰입감과 현장감이 중요한 실감콘텐츠의 제공이 가능하다. 특히, 현재 개인 또는 산업 시장에서 활용되는 실감 콘텐츠가 대중화 되어 엔터테인먼트 뿐만 아니라 산업현장에서도 이용 가능한 콘텐츠로서 사회 전반에 사용되어 17년 대비 23년에 약 12배의 세계시장 규모를 이룰 것으로 보인다[1][2]. 가상현실의 한 분야인 증강현실은 현실을 기반으로 사용자가 원하는 목적물에 한해서 3차원 가상현실을 적용하여 상대적으로 용이한 구현 조건과 가상현실에서 얻기 어려운 부가적인 정보들을 보강해 줄 수 있는 특징이 있다. 이러한 특징들로 인해, 현재 증강현실은 의료, 건축, 시뮬레이션 등과 같이 사회 전반 다양한 분야에 정보를 제공할 수 있다는 점에서 차세대 디스플레이 기술로 주목받고 있다[3][4].

한편, 최근 COVID-19로 인해 서비스 산업이 비대면 방식에서의 급속도로 변화가 진행되고 있고 여러 사회문제를 해결하기 위해 증강현실 및 가상현실 기술을 활용하여 사회 문제를 해결하기 위한 시도도 급증하고 있다 [5]. 한편, 증강현실 산업이 더욱 발전하기 위해서는 사용자들이 비대면 방식으로 즐길 수 있는 현실감 있는 증강현실 콘텐츠 연구가 필요하다. 이에 홍일양 외 1명은 “포스트 코로나 시대 혼합현실 미디어의 전망”[6]에서 COVID-19로 비대면이 일상화된 사회에서 새로운 대안으로 떠오른 실감콘텐츠와 혼합현실 미디어에 대해 고찰해 보았고, 이러한 콘텐츠 개발이 포스트 코로나 시대에 단순한 기술개발이 아닌, 인간의 감성을 자극하고 사용자의 만족도를 높일 수 있는 감성미디어로 자리매김 할 것으로 보고 있다.

강승우 외 1명은 2020년에 “AR을 이용한 당구 학습 시스템”[7]을 제안하였다. 제안한 당구 학습 시스템은 당구대 위의 당구공의 영역 검출을 통해 위치를 파악하고 해당 위치에서 득점을 위한 경로를 사용자에게 제공한다. [7]에서 제안한 당구 학습 시스템을 사용하기 위해서는 실제 당구대와 당구공들이 필수적으로 필요하며, 혼자 즐기기는 추가 공간과 비용이 발생한다. 또한, 당구대 위의 당구공 영역을 검출하지 못하면 사용자에게 경로를 제공할 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션을 제안한다. 제안한 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션은 사용자에게 별도의 당구 장비 없이 AR 디바이스만으로 간단하게 당구 시뮬레이션을 즐길 수 있는 환경을 제공함으로써 간편함을 제공한다. 또한, 현실세계와 가까운 증강현실 당구 시뮬레이션 동작 구현을 목표로 하며, 현재 각광받고 있는 실감콘텐츠 증강현실과 가상현실 모두에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 포스트 코로나 시대에 비대면 방식으로 집에서 당구를 즐기며 사용자의 호기심을 자극하고 현실성 있는 증강현실 당구 시뮬레이션으로 몰입감을 높일 수 있다.

## II. 본론

### 1. 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 전체 개요도

본 논문에서 제안하는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션 개발의 전체 개요도는 그림 1과 같다.

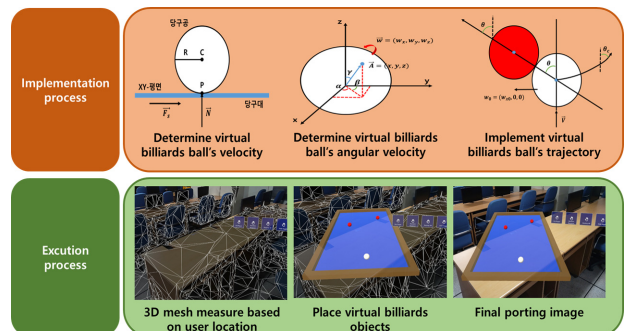


Fig. 1. Overview of the proposed physics simulation in this paper.

그림 1. 본 논문에서 제안한 물리 시뮬레이션의 전체 개요도

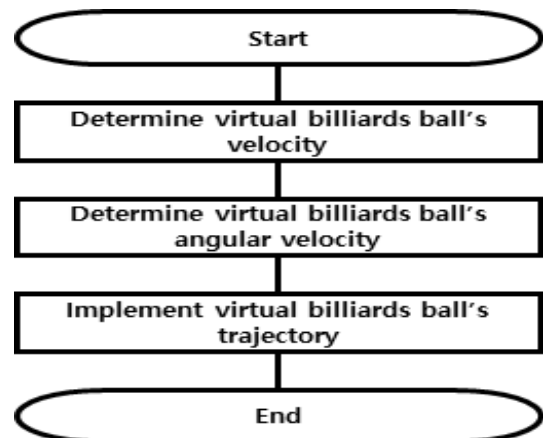


Fig. 2. Flow chart of the proposed physics simulation in this paper.

그림 2. 본 논문에서 제안한 물리 시뮬레이션의 전체 흐름도

본 논문에서 제안하는 물리 시뮬레이션의 구현 순서는 가상 당구공의 속도 결정[8], 가상 당구공의 각속도 결정, 가상 당구공의 궤적 구현[9], [10] 등 3가지의 과정으로 이루어져 있으며, 전체 구현 과정의 흐름도는 그림 2와 같다.

2. 가상 당구공의 속도( $\vec{V}$ ) 결정

현실에서 당구대 위에 올려진 당구공은 그림 3과 같이 중력, 작용 반작용 법칙에 의한 당구대 평면의 법선 벡터와 당구대와 당구공 사이의 마찰력 등에 영향을 받는다. 여기서  $m$ 은 당구공의 질량,  $C$ 는 당구공의 중심,  $P$ 는 당구공과 당구대가 맞는 점,  $R$ 은 당구공의 반지름,  $\vec{F}_s$ 는 당구대와 당구공 사이의 마찰력,  $\vec{N}$ 은 당구대 평면의 법선벡터를 나타낸다. 공이 진행함에 있어 Z축의 방향으로 진행하지 않기 때문에 초기 속도  $\vec{V}_0 = (V_{x0}, V_{y0}, 0)$ 로, 초기 각속도  $\vec{w}_0 = (w_{x0}, w_{y0}, w_{z0})$ 로 설정한다. 이때, 좌표계의 기준은 가상 당구공의 로컬 좌표계를 기준으로 설정한다.

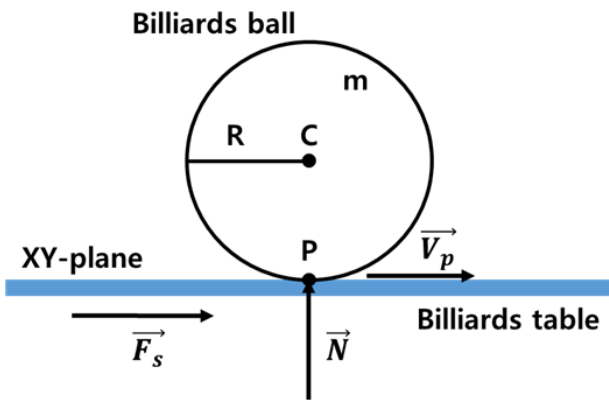


Fig. 3. Determining the velocity of a virtual billiard ball. 그림 3. 가상 당구공의 속도 결정

외부 충격이 당구공에 가해지게 되면 P에서 슬라이딩 움직임이 발생하게 되고, P에서의 속도  $\vec{V}_p$ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $\vec{V}$ 와  $\vec{w}$ 는 공의 중심 C의 속도와 각속도를,  $\vec{CP}$ 는 C에서 P사이의 벡터를 나타낸다.

$$\vec{V}_p = \vec{V} + \vec{w} \times \vec{CP} \tag{1}$$

이때, 각 성분의 값은 의 값은  $\vec{V} = V_x \hat{i} + V_y \hat{j}$ ,  $\vec{w} = w_x \hat{i} + w_y \hat{j} + w_z \hat{k}$ ,  $\vec{CP} = -R \hat{k}$  등으로 나타낼 수 있으며, 각 성분별로 계산하여 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{V}_p = (V_x - R w_y) \hat{i} + (V_y + R w_x) \hat{j} \tag{2}$$

공이 움직이면서 마찰력  $\vec{F}_s$ 가 발생하고  $\mu_k \vec{N}$ 로 표현할 수 있다. 이 마찰력은 움직임의 반대 방향으로 작용하므로  $\vec{V}_p$ 의 유닛벡터를 적용하여 그림 4와 같이 표현이 가능하며, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (4)와 (5)는 각 성분별로 나타낸 식이다.

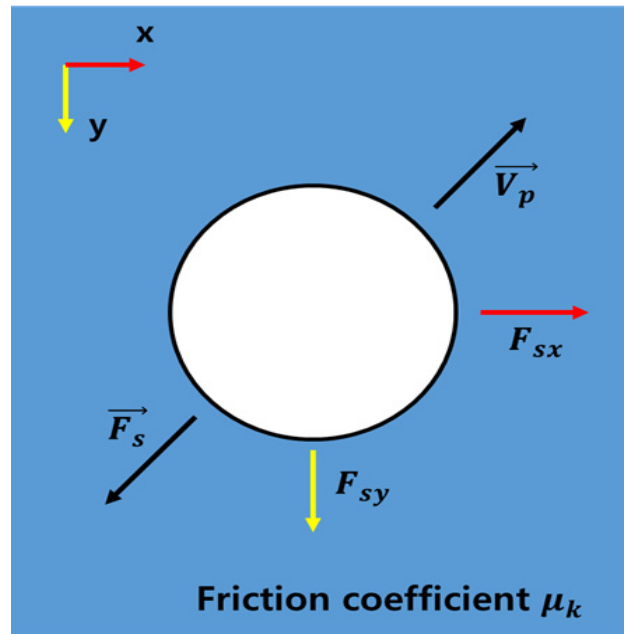


Fig. 4. The friction force acting on the billiards ball. 그림 4. 당구공에 작용하는 마찰력

$$\vec{F}_s = - \frac{\vec{V}_p}{|\vec{V}_p|} (\mu_k \vec{N}) \tag{3}$$

$$F_{sx} = - \mu_k \frac{\vec{N}}{|\vec{V}_p|} (V_x - R w_y) \tag{4}$$

$$F_{sy} = - \mu_k \frac{\vec{N}}{|\vec{V}_p|} (V_y + R w_x) \tag{5}$$

또한, 식 (4), (5)와 뉴턴의 제 2법칙에 의해 식(6)으로 나타낼 수 있다. 여기서  $m$ 은 당구공의 질량을,  $a$ 는 각 성분별 가속도를 나타낸다.

$$F_{sx} = m a_x, F_{sy} = m a_y, N - mg = m a_z = 0 \tag{6}$$

당구공에 오일러 운동 방정식을 적용하게 되면 3차원 공간에서의 각운동량을 도출할 수 있다. 이때, xyz 좌표계에서의 관성모멘트가 모두 같다는 전제하에 그림 5와 같이 표현 가능하며, 식 (7)과 같이 성분별로 각운동량을 나타낼 수 있다.

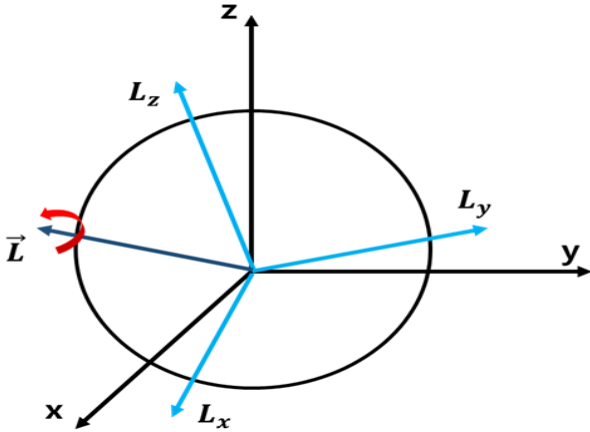


Fig. 5. The Angular momentum of the billiards ball.  
 그림 5. 당구공의 각운동량

여기서,  $I$ 는 관성모멘트를,  $\alpha$ 는 각속도를 나타낸다.

$$L_x = I\alpha_x, \quad L_y = I\alpha_y, \quad L_z = I\alpha_z \quad (7)$$

반면, 각운동량은 식 (8)과 같이 xyz 평면에 위치한 당구공에 작용하는 힘의 성분에  $\vec{CP}$ 를 외적 하여 xy평면에 작용하는 각운동량의 성분을 계산할 수 있으며 식 (6), (7)을 이용하여 성분별 각운동량을 나타낼 수 있다.

$$L = \vec{CP} \times (F_{sx}\hat{i} + F_{sy}\hat{j} + N\hat{k}) \quad (8)$$

$$-RF_{sx} = I\alpha_y, \quad RF_{sy} = I\alpha_x, \quad L_z = 0 \quad (9)$$

식 (9)을 시간  $t$ 에 대해 적분하여 가속도의 값을 속도 값으로 변환하고, 슬라이딩 움직임이 0인  $\vec{V}_p=0$  시점에서 식 (2)을 이용하여  $V_x$ 는  $Rw_y$ ,  $V_y$ 는  $-Rw_x$ 로 나타낼 수 있으므로 위의 식으로 다음 식 (10)과 (11)로 나타낼 수 있다.

$$Rm(V_y - V_{y0}) = I(-\frac{V_y}{R} - V_{x0}) \quad (10)$$

$$-Rm(V_x - V_{x0}) = I(-\frac{V_x}{R} - V_{y0}) \quad (11)$$

위의 식을  $V_x$ 와  $V_y$ 에 대하여 정리하고 구체의 관성모멘트인  $I = \frac{2}{5}mR^2$ 을 적용하여 최종  $V_x$ 와  $V_y$ 를 식 (12)와 (13)으로 나타낼 수 있다.

$$V_x = \frac{5}{7}V_{x0} + \frac{2}{7}Rw_{y0} \quad (12)$$

$$V_y = \frac{5}{7}V_{y0} - \frac{2}{7}Rw_{x0} \quad (13)$$

따라서, 식 (12), (13)을 통해 도출된  $V_x$ ,  $V_y$ 는 마찰력  $F_s$ 와 마찰계수  $\mu_k$ 에 영향을 받지 않는 것을 알 수 있으며, 이러한 내용을 토대로  $V_x$ ,  $V_y$ 를 시간 변화에 따른 식으로 변환하여 시뮬레이션에 적용할 수 있다. 시간 변화에 따른 식으로 변환하기 위하여 식 (2)를 미분하여 식 (4), (5), (6), (7)을 대입하면 식(14), (15)와 같이 표현이 가능하다.

$$V'_{px} = -\frac{7}{2} \frac{\mu_k g}{|V_p \text{RIGHT}|(V_x - Rw_y)} \quad (14)$$

$$V'_{py} = -\frac{7}{2} \frac{\mu_k g}{|V_p \text{RIGHT}|(V_y - Rw_x)} \quad (15)$$

식 (14), (15)는 x, y축에 대한 가속도비와 속도비로 나타낼 수 있으며, 이는 축 별 가속도 대 속도비로 변환하여 식 (16)으로 같이 표현할 수 있고 이를 적분 및 로그변환을 이용해 식 (17)과 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{V'_{px}}{V'_{py}} = \frac{V_{px}}{V_{py}} \Rightarrow \frac{\Delta V_{px}}{V_{px}} = \frac{\Delta V_{py}}{V_{py}} \quad (16)$$

$$V_{px} = V_{py} \times e^{C_1}, (C_1 = constant) \quad (17)$$

위의 식을 통해, 미끄러지는 방향과 마찰력의 방향은 변하지 않는 것을 알 수 있으며, 충돌 후의 가상 당구공의 방향은 미끄러짐 단계가 끝날 때 까지 포물선 경로를 유지하는 것을 알 수 있다. 따라서 식 (4), (5)를 식 (18), (19)로 나타내면 성분별 가속도 역시 상수값임을 알 수 있다.

$$a_x = -\mu_k g \frac{C_2}{\sqrt{1+C_2^2}} \quad (18)$$

$$a_y = -\mu_k g \frac{1}{\sqrt{1+C_2^2}} \quad (19)$$

마지막으로, 식 (18), (19)을 적분하여 속도에 대한 식으로 변환하고  $t=0$ 인 상태의 초기값을 대입하여 속도값에 대한 식 (20), (21)을 도출할 수 있다.

$$V_x = -\mu_k g \frac{C_2}{\sqrt{1+C_2^2}}t + V_{x0} \quad (20)$$

$$V_y = -\mu_k g \frac{1}{\sqrt{1+C_2^2}}t + V_{y0} \quad (21)$$

그림 6은 가상 당구공의 속도 결정 물리식을 표현한 그림이다.

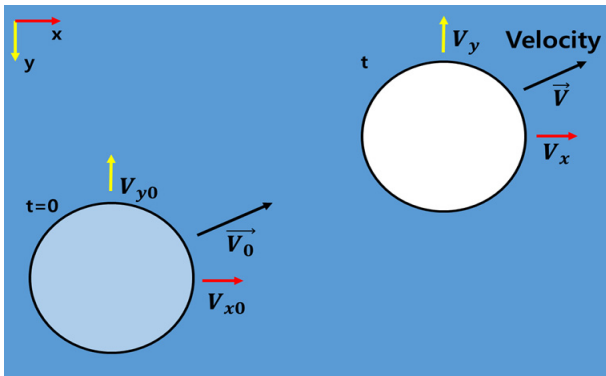


Fig. 6. The Expression of determination of virtual billiards ball's velocity.

그림 6. 가상 당구공의 속도 결정 물리식 표현

3. 가상 당구공의 각속도( $\vec{w}$ ) 결정

실제와 같은 공의 회전 및 진행 경로를 구현하기 위해 타격 지점을 기반으로 가상 당구공을 회전시키기 위한 각속도와 각가속도를 설정해야 한다. 그러므로 그림 7과 같이 가상 당구공 표면 위의 가상 큐대에 의한 임의의 타격 지점  $\vec{A}=(x, y, z)$ 의 정보를 이용하여 가상 당구공의 회전 방향 및 속도를 정할 필요가 있다.

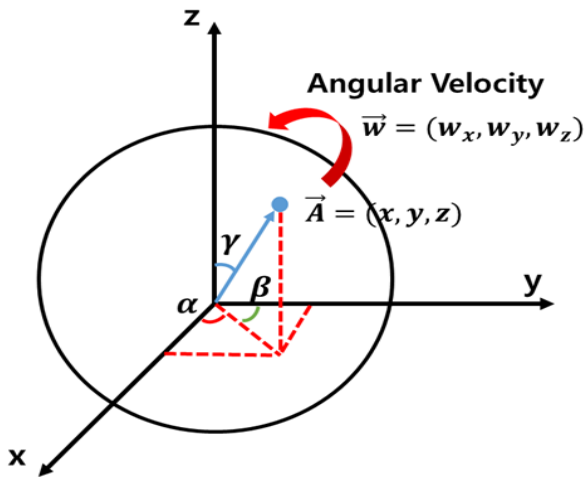


Fig. 7. Determining the angular velocity of a virtual billiard ball.

그림 7. 가상 당구공의 각속도 결정을 위한 예시

임의의 타격지점에 대한 좌표별 각도  $\alpha, \beta, \gamma$ 를 나타낸다. 이때, 타격지점의 좌표값은 가상 큐대와 가상 당구공의 바라보는 방향이 항상 같기 때문에 로컬 좌표계를 기준으로 측정한다. 해당 좌표별 각도는 식 (22)로 구할 수 있다. 여기서  $\theta$ 는 구하고자 하는 축의 각도를,  $\vec{a}$ 는 가상 당구공의 중점으로부터 타격지점 A까지의 벡터를,  $\vec{b}$ 는 구하고자 하는 축의 벡터를 나타낸다.

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}||\vec{b}|}\right) \tag{22}$$

구해진 각도를 통해  $\vec{A}$ 의 단위 벡터를 식 (23) 같이 방향 코사인 벡터로 나타낼 수 있으며, 각도 정보를 바탕으로 어느 각도로 진행되는 벡터인지의 정보를 알 수 있다.

$$\hat{A} = (\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma) \tag{23}$$

이러한 방향 코사인 벡터를 이용하여 가상 당구공의 각속도  $w_x$ 와  $w_y$ 를 구할 수 있다.  $w_z$ 의 값은 충돌 후,  $V_z$ 의 값이 주어지지 않기 때문에,  $\vec{w}_x$ 와  $\vec{w}_y$ 를 외적인 값으로 식 (24)와 같이 모든 성분의 각속도를 구할 수 있다.

$$\vec{w} = \begin{cases} w_x = \frac{V_x}{|A|} * \cos\alpha \\ w_y = \frac{V_y}{|A|} * \cos\beta \\ w_z = w_x \times w_y \end{cases} \tag{24}$$

4. 가상 당구공의 궤적 구현

실제 당구공과 비슷한 움직임을 구현하기 위해 입사벡터, 법선벡터, 반사벡터 등을 이용하여 가상 당구공의 움직임 궤적을 구현한다. 가상 당구공이 정지했을 때의 위치와 가상 당구대 벽에 부딪혔을 때 프레임에 대한 가상 당구공의 위치를 이용하여 식 (25)와 같이 입사벡터를 계산한다. 여기서  $\vec{I}$ 는 입사벡터를, A'은 가상 당구공의 나중 위치 좌표  $(x_1, y_1, z_1)$ 을, A는 가상 당구공이 움직이기 전의 위치 좌표  $(x_0, y_0, z_0)$ 을 나타낸다.

$$\vec{I} = A'(x_1, y_1, z_1) - A(x_0, y_0, z_0) \tag{25}$$

가상 당구공과 가상 당구대 벽의 면적에서 수직 성분을 이용하여 식 (26)과 같이 법선벡터를 계산한다. 여기서  $\vec{N}$ 은 법선벡터를,  $\vec{PO}$ 와  $\vec{QO}$ 는 오브젝트의 면적을 지나는 임의의 벡터를 나타낸다.

$$\vec{N} = \vec{PO} \times \vec{QO} \tag{26}$$

입사벡터와 법선벡터를 이용하여 식 (27)과 같이 반사 벡터를 구한다. 여기서  $\vec{R}$ 은 반사 벡터를 나타낸다.

$$\vec{R} = \vec{I} + 2 * \vec{N} \tag{27}$$

그림 8은 입사벡터, 법선벡터, 반사벡터 등을 이용하여 가상 당구공의 움직임 궤적을 구현한 것을 나타내고 있다.

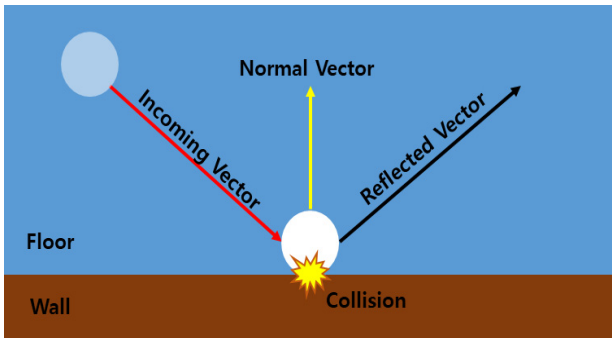


Fig. 8. Realization of the trajectory of a virtual billiard ball using incident vectors, normal vectors, reflection vectors.  
 그림 8. 입사벡터, 법선벡터, 반사벡터 등을 이용하여 가상 당구공의 궤적 구현

가상 당구공끼리 부딪혀, 진행 방향에 대한 두 공의 충돌 후 벡터를 구하기 위해서는 가상 당구공이 부딪힌 순간의 부딪힌 면적을 구한 후에, 식 (22)를 이용하여 각도와 충돌 후 벡터를 구할 수 있다. 그림 9는 가상 흰 공과 가상 빨간 공의 충돌 시의 반사 각도를 산출하여 가상 빨간 공의 궤적을 구현한 예를 나타내고 있다. 여기서  $\vec{a}$  는 가상 흰 공의 진행 방향 벡터를,  $\vec{b}$  는 가상 빨간 공의 진행 벡터를,  $\theta$  는  $\vec{a}$  벡터와  $\vec{b}$  벡터 사이의 각도를,  $\vec{a}'$  는 가상 흰 공이 충돌 후의 움직임 방향의 벡터를 나타낸다.

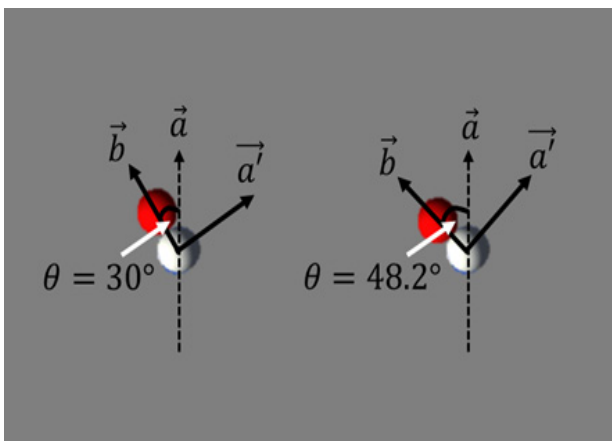


Fig. 9. Trajectory of virtual white ball and virtual red ball collision.  
 그림 9. 가상 흰 공과 가상 빨간 공의 충돌 시의 궤적 구현

반면, 가상 흰 공은 가상 큐대에 의한 각속도 값을 갖고 움직임을 진행하고, 당구대와의 마찰에 의해 경로가 휘게 된다. 그림 10은 공의 회전에 의한 가상 흰 공의 경로 변화의 예시를 나타낸다.

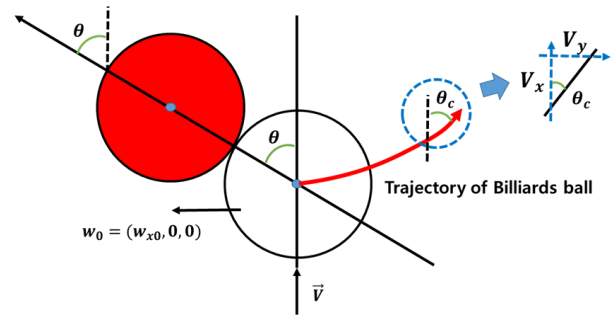


Fig. 10. The path of the white ball by the rotation.  
 그림 10. 공의 회전에 의한 가상 흰 공의 경로 변화

가상 빨간 공의 부딪히기 전 가상 흰 공은 운동량과 운동 에너지를 가지며, 슬라이딩 움직임 없이 공이 구르기 때문에, 충돌 직후의 값을 식 (28), (29)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{x0} = |\vec{V}| \sin\theta \cos\theta, V_{y0} = |\vec{V}| \sin^2\theta \quad (28)$$

$$w_{x0} = \frac{-V}{R} \quad (29)$$

위의 도출된 값을 식 (12), (13)에 대입하여  $V_x$ 와  $V_y$ 의 역탄젠트 값을 구하면  $\theta_c$ 를 구할 수 있다. 따라서 가상 흰 공과 가상 빨간 공 사이의 각도는  $\theta_c + \theta$ 로 나타낼 수 있다. 가상 당구공과 가상 당구대 사이의 마찰이 없다면, 가상 흰 공은 직선으로 움직일 것이고 탄성 충돌 방정식이 충돌 직후 가상 흰 공의 경로를 구하기 위해 사용될 것이다. 따라서  $\theta_c$ 는 식 (30)과 같이 표현이 가능하다.

$$\theta_c = \frac{\pi}{2} - \theta \quad (30)$$

### 5. 성능 실험

#### 가. 실험 환경

본 논문의 실험에 사용된 hardware는 Intel(R) Core (TM) i7-9750H 2.60GHz CPU, RAM 16GB, NVIDIA GeForce GTX 1650 (V-RAM 4GB) GPU 등으로 구성되어 있으며 Window 10 Home 64비트 운영체제에서 개발도구 Visual Studio 2019와 Unity 2019.4.36f1, 라이브러리 Microsoft Mixed Reality Toolkit(MRTK) 2.5.4를 사용하였다.

#### 나. 실험 방법

전체 실험 과정은 다음 그림 11의 흐름도를 따라 진행한다. 가상 당구공 표면의 충격을 가할 위치를 클릭하게 되면, 타점을 기반으로 가상 당구공의 속도와 각속도를

결정한다. 다음으로 결정된 속도와 각속도에 의해 가상 당구공을 제어한다. 이때, 다른 오브젝트와 충돌이 발생한다면 이에 따른 경로를 계산하여 산출된 경로에 따라 가상 당구공을 제어한다.

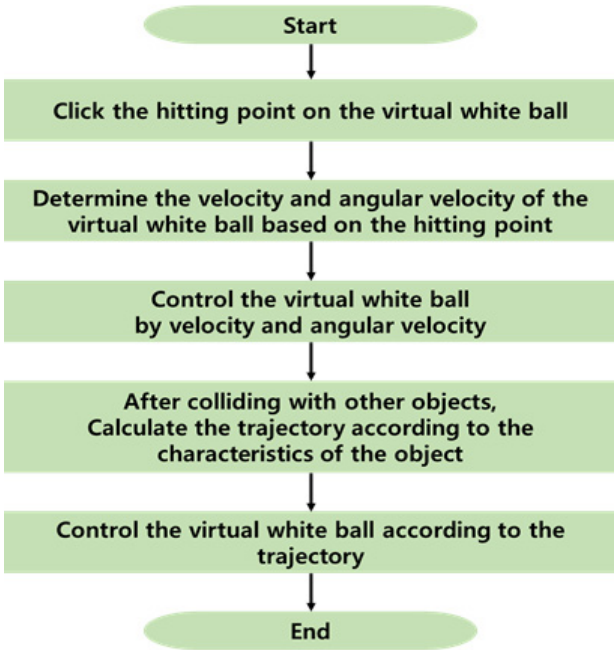


Fig. 11. Control flow chart for the virtual billiards ball.  
그림 11. 가상 당구공의 제어 흐름도

Unity 게임 엔진을 이용하여 실제와 비슷한 가당 당구대와 가상 당구공 등의 오브젝트들을 Unity에서 제공하는 기본 오브젝트들과 툴을 이용하여 생성한다. 다음 그림 12는 생성한 가상 당구 오브젝트를 나타낸다.

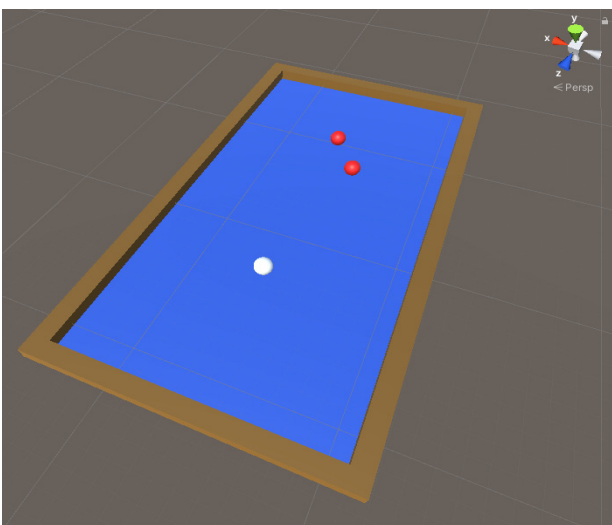


Fig. 12. Created virtual billiards objects.  
그림 12. 생성한 가상 당구 오브젝트들

생성한 당구대 바닥에 당구장에서 촬영한 실제 당구대의 평면 이미지를 그림 13과 같이 오버랩하여 실제와 동일한 위치에 가상 당구공을 위치시킨다. 다음으로 실제 타격 위치와 동일한 가상 당구공의 표면을 타격하여 가상 당구공의 움직임을 제어하며, 실제 영상과 비교를 위해 가상 당구공의 진행 영상을 저장한다.

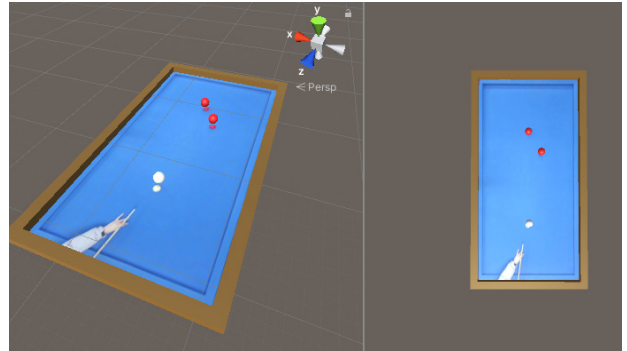


Fig. 13. Virtual billiards table overlapped on real billiards table image.

그림 13. 실제 당구대 평면 이미지를 오버랩한 가상 당구대

다. 실험 결과

본 논문에서 제안한 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션의 성능을 평가하기 위한 실험 절차는 그림 14와 같다.

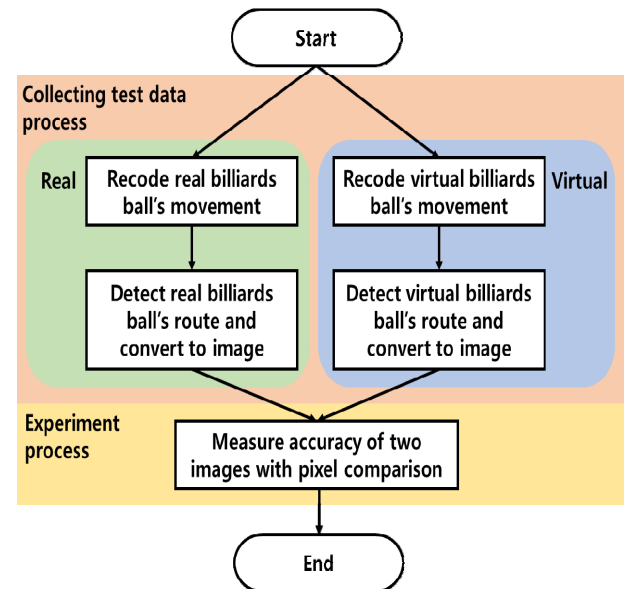


Fig. 14. Experiment process of the proposed physics simulation.

그림 14. 제안한 물리 시뮬레이션의 실험 절차

실제에서 위치마다 당구공의 모든 경로와 타점 위치를 다르게 하여 촬영하는 것은 불가능하기 때문에, 실제 당

구장에서 촬영한 영상에서 자주 발생하는 8개의 경로를 선택하여 실험하였다. 그림 15는 실험에 사용한 8개의 경로 이미지를 나타낸다.

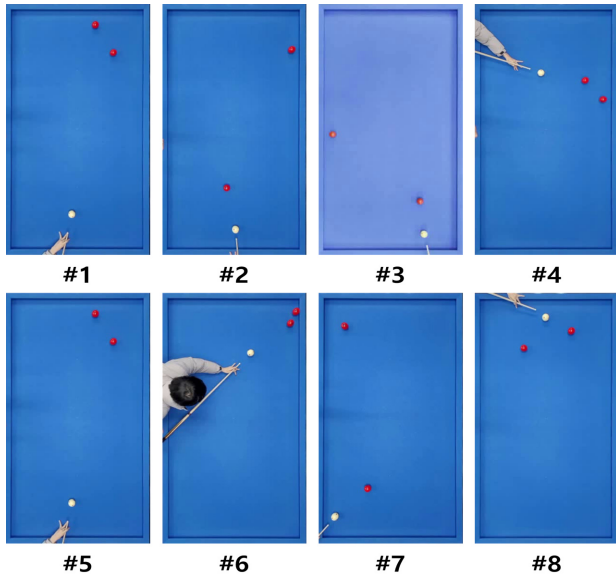


Fig. 15. 8 path images used in the experiment.  
그림 15. 실험에 사용한 8개의 경로 이미지

그림 16과 같이 실제 당구장에서 타격지점과 당구공의 위치를 다르게 하여 8종류의 영상을 촬영하였다. 이때, 실제 흰색 당구공과 가상 흰색 당구공의 경로 추적을 위해 영상을 HSV 채널로 변환하여 흰색 영역의 당구공을 추적하여 당구공의 경로를 이미지로 저장하였다.

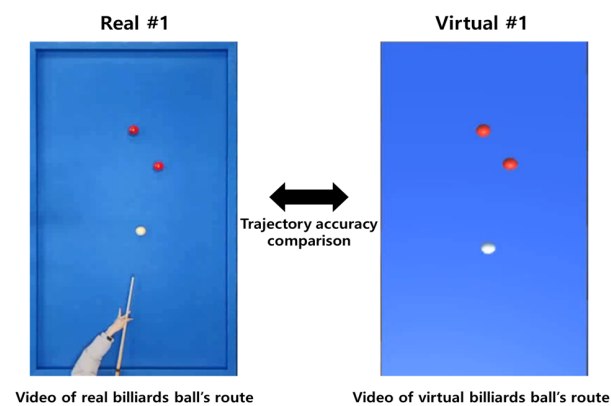


Fig. 16. Videos of real billiards ball's route and virtual billiards ball's route.  
그림 16. 실제 당구공의 경로 영상과 가상 당구공의 경로 영상

Unity 게임 엔진을 이용하여 촬영한 영상에서의 당구공 위치와 동일한 위치에 가상 당구공의 위치를 설정하고 실제 타격한 위치와 동일한 각도와 타격 지점을 설정

하여 가상 당구공 표면 해당 위치에 힘을 가하여 실험을 진행하였다.

수집한 실제 당구공의 경로 이미지와 가상 당구공의 이동 경로 이미지를 그림 17과 같이 오버랩하여 실제 당구 경로와 본 논문에서 제안한 물리 시뮬레이션에 의한 가상의 경로가 일치하는 정도를 평가하였다. 평가의 기준은 실제 당구공의 이미지 경로와 가상 당구공의 이동 경로 이미지가 일치하는 픽셀을 이미지 전체 사이즈로 나누어 정확도를 산출하였다.

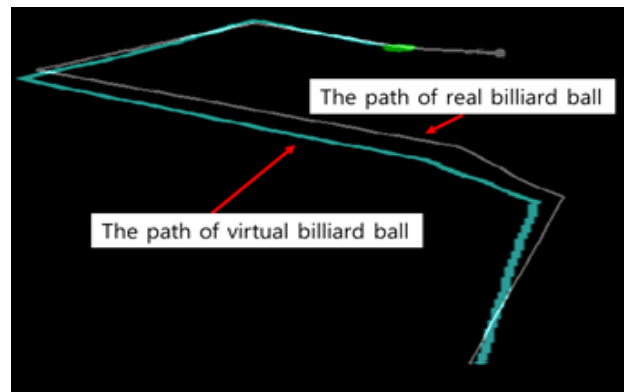


Fig. 17. Overlap images for the path of the real billiards ball and the path of the virtual billiards ball.  
그림 17. 제 당구공의 경로와 가상 당구공의 경로에 대한 오버랩 이미지

표 1에서 나타난 바와 같이 8종류의 경로에 대하여 실제 당구공의 경로와 가상 당구공의 경로가 일치하는 정확도의 범위가 97.75%~99.11%로 산출되었다. 당구공의 특성상 타점이 약간만 벗어나도 전혀 다른 결과를 도출할 수 있는 경향이 있다는 점을 고려한다면 본 논문에서 제안한 물리 시뮬레이션의 성능은 정확하다고 볼 수 있다.

Table 1. Accuracy between the path of the real billiards ball and the path of the virtual billiards ball.

표 1. 실제 당구공의 경로와 가상 당구공 경로의 정확도

#.Path Number	Accuracy(%)
#1	98.53
#2	97.75
#3	98.5
#4	98.93
#5	98.29
#6	98.25
#7	98.39
#8	99.11
mean	98.47

한편, [7]에서 제안한 당구 학습 시스템의 경우 타점은 당구공의 정중앙만을 고려하여 실험을 진행하였다. 실험 결과, 당구공의 분리각 마다 정확도가 다르며, 당구공의 정중앙과 제안한 방향 조건 아래에 약 60%의 정확도를 나타냈다. 반면, 본 논문에서 제안한 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션은 경로 마다 타점이 다르며, 분리각에 상관없이 결과를 도출했다는 점에서 [7]에서 제안한 당구 학습 시스템보다 실제 당구공의 움직임과 더 비슷한 움직임을 나타낸다고 볼 수 있다.

최종적으로, Unity를 이용하여 홀로렌즈 같은 AR 디바이스에 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션의 솔루션을 배포한다. 배포된 솔루션은 사용자가 위치한 주변의 환경을 실시간으로 인식하여 3D mesh를 생성한다. 생성한 3D mesh는 가상의 당구 오브젝트들을 위치시키기 위한 3D 맵 형태로 생성된다. 이후, 사용자가 원하는 위치에 가상 3D 당구대를 위치시키고 사용자 기준 오른쪽에 보이는 메뉴들을 클릭하여 가상 흰 공 및 가상 빨간 공을 생성한다.

다음 그림 18은 유니티를 통해 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션의 솔루션을 AR 디바이스에 포팅한 결과를 나타낸다.

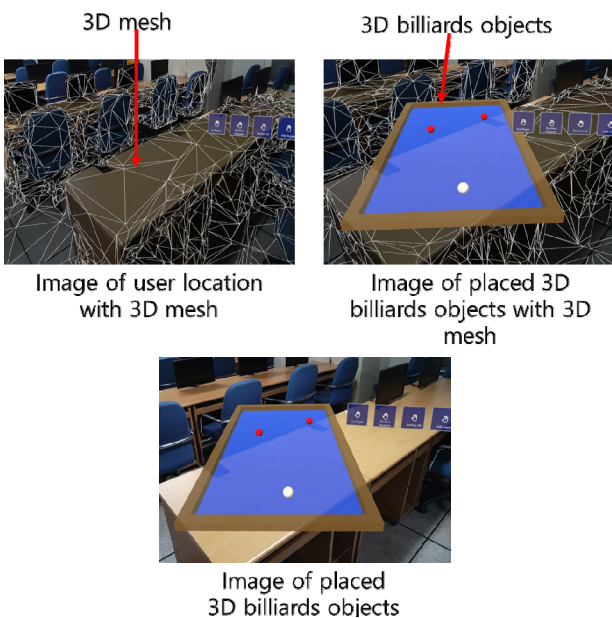


Fig. 18. A photo of a solution of physics simulation for augmented reality billiards content ported to AR device.

그림 18. 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션의 솔루션을 AR 디바이스에 포팅한 사진

### III. 결론

본 논문에서는 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션을 제안하였다. 제안된 증강현실 당구 콘텐츠는 COVID-19로 인한 언택트 시대에 맞게 사용자들 간의 비대면으로 증강현실 당구를 플레이할 수 있기 때문에, 사용자가 현실과 상호작용하여 현실감이 중요한 e스포츠 분야에 증강현실 당구 콘텐츠 제공이 가능해졌다. 또한, 실험과정에서는 타격 지점에 해당하는 가상 당구공 표면에 힘을 가하여 공을 움직이게 하였지만, 가상 큐대를 사용하여 좀 더 실감나는 경기 진행이 가능하다고 보인다. 따라서 증강현실 환경에 물리식이 적용된 3구 또는 4구 당구 콘텐츠에 대한 연구를 통해 증강현실 당구 콘텐츠와 같은 AR/VR 스포츠 콘텐츠 활용이 기대되어 진다. 본 논문에서 제안한 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션의 성능을 평가하기 위한 실험결과, 실제 당구공의 경로와 가상 당구공의 경로가 일치하는 정확도의 범위가 97.75%~99.11%로 산출되었다. 따라서 본 논문에서 제안한 증강현실 당구 콘텐츠를 위한 물리 시뮬레이션의 성능이 실제 당구공의 경로와 유사하게 동작하는 것으로 판별되었다. 향후 연구 방향으로는 가상 큐대와 닿는 가상 당구공의 면적에 대한 에너지 전달을 정확하게 하는 방법과 사용자의 타격 기법에 따른 가상 당구공의 회전과 진행 방향을 정교화 하는 연구가 필요하다고 사료된다.

### References

[1] “Strategies to revitalize the immersive content industry for leading the 5G era,” *Science and Technology Strategy Committee*, pp.19-23, 2019.

[2] Noghabaei, Mojtaba, et al. “Trend analysis on adoption of virtual and augmented reality in the architecture, engineering, and construction industry,” *MDPI journals*, Vol.5, No.1, p.26, 2020. DOI: 10.3390/data5010026

[3] Se-Yun, Oh “Augmented Reality (Augmented Reality) technology trends and development prospects at home and abroad,” *Korea Institute of Science and Technology Information*, p.10, 15, 2009. DOI: 10.17703/JCCT.2019.5.4.315

[4] Chen, Yunqiang, et al. “An overview of augmented

reality technology,” *Journal of Physics: Conference Series*, Vol.1237. No.2. 2019.

DOI: 10.1088/1742-6596/1237/2/022082

[5] “Technology development trend to solve social problems using VR/AR technology,” *Journal of the Korean Telecommunications Society (Information and Communication)*, Vol.37, No.10, pp.10-16, 2020.

[6] Il-Yang Hong, and Young-Woo Lee, “The Future of Mixed-Reality Media on the Post COVID-19 Era,” *JKIICE*, Vol.25, No.2, pp.240-245, 2021. DOI: 10.6109/jkiice.2021.25.2.240

[7] Kang, Seung-Woo, and Kang-Sun Choi. “Augmented Reality-based Billiards Training System,” *Journal of Practical Engineering Education*, Vol.12, No.2 pp.309-319, 2020.

DOI: 10.14702/JPEE.2020.309

[8] Wallace, R. Evan, and Michael C. Schroeder. “Analysis of billiard ball collisions in two dimensions,” *American journal of Physics*, Vol.56, No.9, pp.815-819, 1988. DOI: 10.1119/1.15455

[9] De la Torre Juarez, M, “The effect of impulsive forces on a system with friction: the example of the billiard game,” *European journal of physics*, Vol15, No.4 pp.184, 1994.

DOI: 10.1088/0143-0807/15/4/005

[10] Doménech, Antonio, “Non-smooth modelling of billiard-and superbilliard-ball collisions.” *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol.50, No.4, pp.752-763, 2008.

DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2007.11.006

#### Seung-Ho Lee (Member)



1986 : BS degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
1989 : MS degree in Electronic Engineering, Hanyang University  
1994 : Ph. D degree in Electronic Engineering, Hanyang University

1994~current : Professor, Department of Electronic Engineering, Hanbat National University

### BIOGRAPHY

#### Hong-Jik Kim (Member)



2021 : BS degree in Electronic Engineering, Hanbat National University

2021~current : MS degree course in Electronic Engineering, Hanbat National University