

국가대표 컬링 대표팀 지원을 위한 컬링패드 성능 시험 시스템 개발

김태완, 이상철*, 길세기
한국스포츠정책과학원 스포츠과학연구실 책임연구원위원

Development of a curling pad performance test system to support Korea curling team

Taewhan Kim, Sangcheol Lee*, Sekee Kil
Senior Researcher, Department of Sport Science, Korea Institute of Sport Science

요약 본 연구에서는 국가대표 컬링(curling) 선수들이 사용하는 컬링패드(pad)의 성능을 평가할 수 있는 시험 장비를 개발하였다. 개발된 장비는 얼음을 생성할 수 있는 수조, 수조에서 생성된 얼음 표면에 패드를 밀착시켜 스위핑(sweeping, 패드 왕복 운동)을 수행할 수 있는 패드 구동 장치 및 얼음 속 온도를 측정할 수 있는 측정 장치로 구성되었다. 수조와 구동 장치는 챔버(chamber) 형태의 구조물 내부에 설치하여, 챔버 내부 공기의 온도와 습도 조절이 가능하도록 제작하였다. 개발된 시스템을 이용하여 8종의 컬링 패드에 대하여 스위핑 수행 시 얼음 속 온도 변화를 관찰한 결과, 컬링 패드에 따라 서로 다른 온도 변화가 관찰되었다. 실험을 통하여 관찰된 얼음 온도 상승이 빠른 패드와 선수들이 선호하는 패드가 일치하여, 연구에서 수행한 컬링패드 스위핑에 의한 얼음 온도 변화를 측정하는 시험 방법이 패드의 성능을 가늠하는 유효한 방법임을 확인할 수 있었다.

주제어 : 컬링패드, 패드 구동장치, 스위핑, 챔버, 얼음 온도 상승

Abstract In this study, a test system which can test performance of curling pad was developed to support Korea curling team. The developed system consists of a water tank, a mechanical pad driving system that can perform sweeping movement using a curling pad on surface of ice made by the water tank, and temperature sensors monitoring ice and air temperatures. To control the temperature of ice and humidity/temperature of air around the ice, all system are installed in a chamber that can isolate the developed system from external environment. Eight kinds of curling pads were tested using the developed system. Test result showed that each curling pad revealed different rate of ice temperature increasing. The pad with the highest rate of ice temperature rising was found to be the same as the most preferred pad by the athletes. Therefore, it was confirmed that the method of measuring change of ice temperature by the sweeping performed in this study is an effective method to test the performance of the pad.

Key Words : Curling pad, Pad driving system, Sweeping, Chamber, Rate of ice temperature increasing

*This research was supported by Korea Ministry of Science and ICT, "PyeongChang-Olympic IoT (Internet of Things) demonstration complex project (NIA2016-029)".

*Corresponding Author : Sangcheol Lee(k200lsc@kspo.or.kr, k200lsc@hanmail.net)

Received August 13, 2020

Revised September 11, 2020

Accepted October 20, 2020

Published October 28, 2020

1. 서론

컬링(curling) 경기는 얼음 위에서 공과 유사하게 생긴 돌(스톤, stone)을 지정된 위치로 던진 후, 지정된 위치에 더 가까이 위치하는 스톤의 숫자로 승패를 결정하게 된다[1]. 경기에서 선수들은 스톤의 이동 경로를 조절하기 위해서 브러시(brush)라 불리는 얼음 표면을 닦아내는 장비를 이용하고 있으며, 브러시의 사용 방법에 따라 스톤은 직선 또는 곡선 형태의 이동 궤적을 생성하여 상대 팀의 스톤을 회피하거나 충돌하는 다양한 기술을 구사할 수 있게 된다. 컬링 경기는 국내에 잘 알려져 있지 않았으나, 2018 평창 동계올림픽을 계기로 국내에 널리 알려지게 되었다.

컬링 경기에서 사용되는 장비인 스톤과 브러시 중에서, 스톤은 경기를 운영하는 측에서 관리하기 때문에 선수들이 따로 구매하지 않고 있으며, 개인 장비로 사용하는 브러시만을 선수들이 구매하여 사용하고 있다. 브러시는 얼음과 직접 닿는 부분인 패드(pad)와 손잡이에 해당하는 스틱(stick 또는 handle)으로 구성되어 있으며, 패드는 교체하여 사용하는 소모품에 해당한다. 그러나 패드는 스톤의 진행 방향과 이동 거리를 조절하기 위해서 스톤의 진행 방향 전방의 얼음 표면을 브러시로 닦아 내는 스위핑(sweeping) 동작의 핵심 부품이기 때문에, 패드의 성능은 경기 결과에 많은 영향을 주게 된다. 2016년 이전까지는 패드에 대한 규격(specification)이 없었으며, 세계컬링연맹(World Curling Federation, WCF)에서는 2016년부터 패드에 대한 규격을 제정하고 WCF에서 공인한 패드만을 공식 경기에 사용하도록 하고 있다[2]. WCF의 컬링 패드 규격에는 패드 표면을 감싸는 천의 종류, 방수 처리 및 패드 내부의 폼(form)에 대한 경도 및 외력에 대한 형상 복원 정도만을 지정하고 있다[2]. 따라서 WCF에서 제정한 패드 규격에도 패드의 성능을 객관적으로 판단 할 수 있는 지표 등은 공식적으로 지정되어 있지 않아, 대부분의 선수들은 해외의 주요 팀이나 경기 경험이 많은 선수들이 사용하는 패드를 선택하여 사용하고 있다.

패드와 얼음의 마찰이 스톤의 진행 경로에 영향을 주는 것은 경험적으로 알려져 있으나, 이에 대한 이론적 배경은 아직 정립되어 있지 않다[3]. 현재까지의 연구에서는, 스위핑 동작에서 패드와 얼음 표면의 마찰로 인한 얼음 표면 온도 변화에 따른 얼음 마찰계수의 변화로 인한 영향과, 패드가 얼음 표면에 생성되어 있는 얼음 방울인 패블(pebble)을 깎아 내거나 성에 및 미세한 얼음 조각

들을 치워 버리는 효과 등이 복합적으로 작용하고 있는 것으로 추측하고 있다[4-7]. 국내에서는 컬링 및 동계 종목과 관련된 여러 연구가 수행되었으나[8-15], 스포츠와 관련된 얼음 마찰에 대한 연구는 거의 수행된 적이 없다.

패드와 얼음 사이의 상호 마찰에 대한 위의 여러 가지 가설 중, 얼음 표면 마찰에 의한 얼음 온도 변화와, 얼음 온도 변화에 따른 마찰력의 변화는 여러 논문에서 보고 되어 있어 비교적 신뢰할 수 있으나, 그 외의 가설에 대하여는 아직까지 확실한 연구 결과가 제시되지 않고 있다[4-7]. 현재 WCF의 컬링 패드 규격에는 이러한 부분이 반영되어 있지 않아, 패드 소재에 대한 열전도율 등에 대한 규정이 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 컬링에서 사용되는 브러시 패드의 성능을 평가하고 그 중 우수한 제품을 선택하여 사용할 수 있는 객관적인 시험 방법을 제시하기 위해서, 현재까지 이론적으로 확립된 스위핑에 따른 얼음 온도 변화를 측정 할 수 있는 시스템을 구축 하였다[4-7].

본 연구에서는 동일한 조건에서 다양한 패드에 대한 스위핑 실험을 수행하기 위해서, 얼음의 온도를 제어 할 수 있는 수조를 제작하고, 수조 위에 패드를 이용하여 자동으로 스위핑 동작의 구현이 가능한 다목적 구동 장비를 설치하였다. 패드 성능 평가 실험은 수조에 얼음을 생성하면서 패드 스위핑 지점 얼음 표면으로부터 아래 방향 얼음 속 약 10 mm 지점에 온도 센서를 장착하여, 패드 스위핑 시 발생하는 얼음의 온도 변화를 관찰하는 방법으로 수행 하였다.

총 8종류의 패드에 대하여 실험을 수행한 결과, WCF에서 공인한 패드들 사이에서도 서로 다른 온도 변화율이 관찰되었으며, 가장 높은 온도 변화율을 나타내는 패드와 선수들이 가장 선호하는 패드가 일치하여 연구에서 수행한 패드 성능 평가 방법이 현장 경험과 일치함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 수행한 패드 평가 방법을 이용하면, 새롭게 지정되는 WCF 공인 패드들에 대한 신속한 성능 평가가 가능하며, 동일한 종류의 패드 중에서도 상대적으로 가장 성능이 좋은 패드를 선별하여 사용할 수 있을 것으로 기대 된다.

2. 컬링 패드 성능 평가 시스템

2.1 전체 시스템 구성

개발 시스템은 얼음을 생성하기 위한 냉동 장비, 시험 장치(챔버) 내부 공기의 온도와 습도를 조절하기 위한 공

조 장비, 스위핑 동작 구현을 위한 다목적 구동 장비, 얼음/공기 온도와 습도 측정을 위한 측정 장비 및 제어 시스템으로 구성 된다. 제어 시스템을 제외한 모든 장비는 얼음 생성을 위한 수조가 설치된 챔버 내부에 설치되었으며, 제어 시스템은 별도의 제어실(control room)에 설치하여 제어실 내에서 모든 장비의 제어가 가능하도록 구현 하였다. 챔버 내부에는 카메라를 설치하여 제어실에서 챔버 내부 관찰이 가능하도록 하였으며, 전체 시스템의 통합과 사용자 화면은 LabVIEW를 이용하여 개발 하였다. 아래의 Fig. 1은 전체 시스템의 구성도를 보여주고 있다.

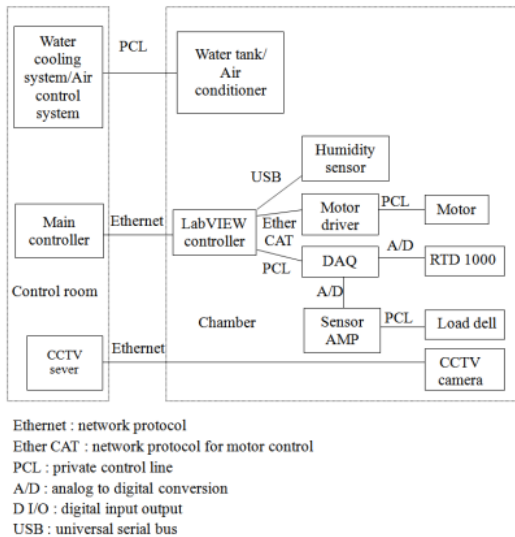


Fig. 1. System structure of the developed curling pad performance test system.

2.2 챔버 및 내부 장비

챔버는 얼음이 생성되는 수조 주위의 공기를 외부와 차단하여 패드 스위핑 실험 시 주변 환경을 일정하게 유지하는 역할을 한다. 챔버는 3 × 3 × 2.5 m (가로 × 세로 × 높이) 크기의 냉동고 형태의 방이며, 내부에는 1 × 1 × 0.5 m (가로 × 세로 × 깊이) 크기의 수조가 설치되어 있다. 챔버 내부 공기는 온도는 - 15 ~ 20 ℃ 사이에서 조절 가능하며, 별도의 제습기를 이용하여 습도 조절이 가능하도록 하였다. 수조 내부에는 냉각관을 설치하여 얼음을 생성 할 수 있도록 되어 있으며, 두께 100 ~ 400 mm 의 얼음을 생성한 후 - 15 ~ 0 ℃로 유지 가능하다. 수조 상부에는 생성된 얼음 표면을 절삭하여 얼음 표면 거칠기를 일정하게 유지하고, 패드를 장착하여

스위핑 기능을 구현 할 수 있는 다목적 구동 장비를 설치 하였다. 다목적 구동 장비에는 총 4개의 서보 모터가 장착되어, 수조에 생성된 얼음 위에서 전후 좌우 및 상하 이동이 가능하며, 상하 이동의 경우에는 0.1 mm 단위로 높이 조절이 가능하다. 다목적 구동 장비를 이용하여 얼음 표면을 절삭하는 경우에는 회전형 칼날을 장착하고 0 ~ 300 rpm 으로 칼날을 회전 시키면서 얼음 표면을 가공 할 수 있다. 또한 다목적 구동 장비를 이용한 패드 스위핑 실험시에는 5 ~ 45 kg의 무게추를 장착한 상태에서 약 0.05 ~ 0.3 m 의 거리를 최대 초당 약 3회 왕복 운동이 가능 하도록 제작 하였다.

챔버 내에는 수조에서 생성되는 얼음의 온도와 챔버 내부 공기 및 습도를 측정하기 위해서 RTD 1000 온도 센서 25개와 습도 센서 2개를 설치하였다. 챔버 내부에 설치된 각종 측정 장비의 전원 공급 장치, 앰프 및 모터 제어기는 밀폐된 형태의 수납함을 제작하여 수납함 내부에 장착하였으며, 수납함 내부에는 히터를 장착하여 저온의 챔버 내부 에서도 각종 전자 기기 성능 저하 및 기능 상실을 방지 하였다. 다음 Fig. 2는 챔버 내부에 설치된 수조에서 다목적 구동 장비를 이용한 얼음 표면 처리 과정과 패드 스위핑 과정을 보여주고 있다.

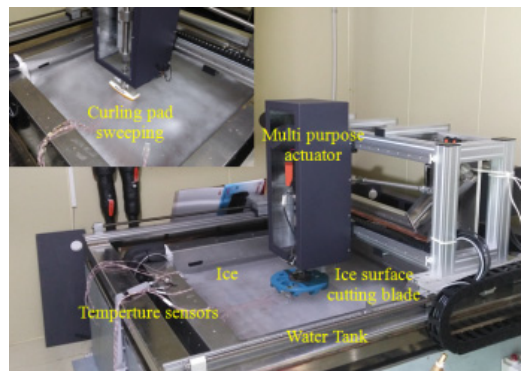


Fig. 2. Pictures of the multi purpose actuator doing ice surface cutting and curling pad sweeping.

2.3 제어 시스템

제어 시스템은 수조의 얼음 온도를 제어하는 냉동기 제어 시스템, 챔버 내부 공기 온도를 조절하는 공조 제어 시스템, 챔버 내부 CCTV (closed circuit television) 카메라를 제어하는 CCTV 제어 시스템 및 챔버 내부의 모터 제어와 데이터 수집을 수행하는 주 제어 시스템으로 구성 된다.

냉동기 제어 시스템은 수조 내부의 얼음 생성 및 얼음

온도를 제어하며, 공조 제어 시스템은 챔버 내부의 공기 온도를 제어한다. 각 시스템은 전용 제어기를 이용하며, 제어기 회사에서 제공하는 웹사이트를 이용하여 챔버/제어실이 설치된 실험실 외부에서도 인터넷을 통해 제어가 가능하다. 얼음 생성에는 비교적 긴 시간(24 ~ 72 시간)이 소요되기 때문에 제어실 외부에서도 얼음 생성과 챔버 내부 공기 온도에 대한 확인이 필요하여 인터넷을 통해 제어가 가능한 시스템을 설치하였다. CCTV 제어 시스템은 챔버 내부 상황 확인을 위해 설치된 CCTV 카메라를 제어하며, 전용 DVR(digital video recorder)과 결합되어 챔버 내부 상황을 확인 할 수 있도록 하였다. 설치된 CCTV 카메라는 HD(high definition) 카메라이며, 챔버 가동 시 자동으로 녹화를 시작하게 된다.

주 제어 시스템은 챔버 내부에 설치된 다목적 구동 장비의 제어와 데이터의 측정을 수행 한다. 주 제어 시스템은 다목적 구동 장비의 상하/좌우/높이 조절, 회전수(rpm) 조절, 스위핑 속도, 스위핑 횟수 확인 및 자동 스위핑 기능(지정 횟수와 속도로 자동 스위핑)등을 제어한다. 그리고 챔버 내부에 설치된 온도 및 습도 센서의 측정 데이터를 실시간으로 측정 및 저장하는 기능을 가지고 있다. 온도 및 습도 데이터는 주 제어 시스템을 통하여 샘플링 속도를 0.1 ~ 1000 samples/sec 로 조절이 가능하며, 사용자의 지정에 따라 저장 기간을 조절 할 수 있다. 주 제어 시스템은 챔버 내부의 구동 장치를 운전 할 수 있기 때문에 시스템의 안전성을 고려하여 제어실 외부에서 접근이 불가능 하도록 하였다. 아래 Fig. 3은 제어실 내부에 설치된 주제어기 모니터의 화면을 보여주고 있다.

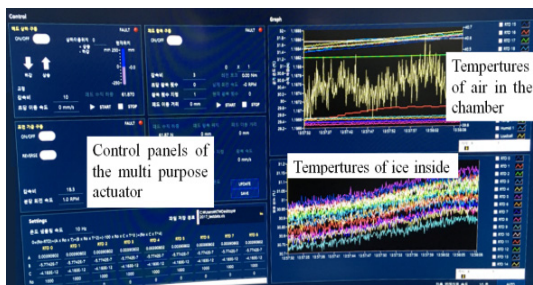


Fig. 3. Monitor screen of the main control system

3. 컬링 패드 성능 시험 결과

구현된 시스템을 이용하여 8종류(A ~ H)의 컬링 패

드에 대하여 성능 평가 시험을 실시하였다. 성능 평가 시험은 시험 대상 패드의 스위핑에 따른 얼음 온도 변화를 측정하는 방식으로 수행 되었다. 시험을 위해서 챔버 내의 시험 환경(얼음 온도, 얼음 표면 상태, 주변 공기 온도 및 습도)을 동일하게 유지한 상태에서, 각 시험 대상 패드를 동일한 조건(속도, 이동거리, 횡수 및 수직 하중)으로 스위핑을 실시하면서, 스위핑 동작이 수행되는 얼음 표면으로부터 10 mm 아래 지점에 설치된 온도 센서에서 측정되는 온도를 관찰 하였다. 시험에 사용된 컬링 패드는 대표팀에서 사용하는 제품을 8종을 선정하였으며, WCF 공인 제품 7종 (B ~ H)종과 WCF 공인 제도가 시행되기 전에 사용되었던 1종 (A) 신제품을 구입하여 사용 하였다.

실험은 컬링 경기가 수행되는 경기장의 조건인 얼음 표면으로부터 1.5 m 지점의 공기 온도는 약 4 ~ 6 ℃ 및 동일 위치에서 습도는 약 50%가 되도록 조절된 상태에서 수행 되었다. 얼음 표면 온도는 컬링 경기장의 관리 온도인 -6 ~ -4 ℃ 보다 낮은 상태(약 -8 ℃ 내외)에서 수행 하였다. 이는 실제 컬링 경기장의 얼음 표면 온도 측정 결과, 냉각관의 위치와 사용하는 얼음 온도 제어기에 따라 관리 온도 보다 높거나 낮은 온도가 관찰되어, 관찰된 가장 낮은 온도(약 -6.5 ℃ ~ -7 ℃)에 약 1 ℃의 여유를 두고 실험 온도를 선정하여 실험을 실시하였다. 시험 대상 컬링 패드 8종은 위 조건이 유지된 상태의 챔버 내부에 실험 전 24시간 동안 보관하여 모든 패드의 상태가 동일하게 유지 된 상태에서 실험을 수행 하였다.

스위핑이 수행되는 얼음 속 온도 변화를 관찰하기 위해서 얼음 표면으로부터 10 mm 아래 지점에 온도 센서를 설치하였다. 본 실험 수행 전에 사전 실험을 통하여 스위핑에 따른 온도 변화를 관찰 할 수 있는 조건을 확인한 결과, 최소 약 40초 이상 스위핑을 수행해야 얼음 속에 설치된 온도 센서를 통해 온도 변화가 감지됨을 확인할 수 있었다. 따라서 실험에서는 각 패드에 대하여 수직 하중 약 98 N(10 kg 무게추 이용), 스위핑 거리 약 100 mm, 초당 1회 왕복 스위핑의 조건에서 약 44초 동안 스위핑을 수행 하면서 얼음 속에서 발생한 온도 변화를 관찰 하였다. 아래 Fig. 4는 스위핑에 따른 패드별 얼음 속 온도 변화 그래프를 보여주고 있으며, 아래 Table 1은 약 44초간(13,133 samples) 측정된 온도 변화율을 보여주고 있다. 측정된 온도는 얼음 표면으로부터 10 mm 아래 지점에서 측정된 온도를 보여주고 있으며, 온도 측정은 300 samples/sec 으로 수행하였다.

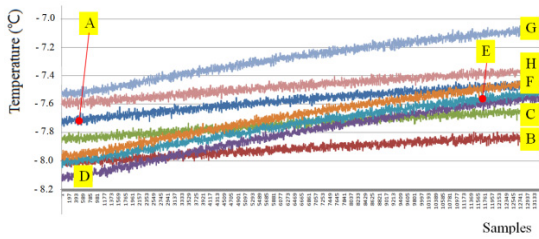


Fig. 4. Variation of ice temperatures positioned beneath 10 mm from ice surface for each test pads.

Table 1. Rate of ice temperature variations positioned beneath 10 mm from ice surface for each test pads.

Pad	A	B	C	D
Rate of temperature variation (°C/sec)	0.00749	0.00560	0.00600	0.01431
Pad	E	F	G	H
Rate of temperature variation (°C/sec)	0.01289	0.01341	0.01200	0.00685

실험 결과를 보면, 각 패드별 실험 시작 온도도 모두 정확하게 일치하지 않았음을 확인 할 수 있다(- 8.1 ~ - 7.5 °C). 얼음의 온도를 정밀하게 제어하기 위해서는 냉각관과 온도 제어가 필요한 얼음 사이에 거리에 따라 정밀한 온도 제어 방법이 필요하나 연구에서 사용된 상용 제어 시스템에는 이러한 기능이 없기 때문에 발생한 실험상의 제약 사항이며, 향후 추가 연구에서 해결해야 할 문제로 판단된다.

초기 실험 시작 시의 얼음 온도 차이에도 불구하고 실험에 사용된 패드 중, D 패드의 경우에는 가장 낮은 온도 (약 - 8.1 °C)에서 시작하였음에도 불구하고 가장 높은 온도 변화율(0.01431 °C/sec)을 보여주고 있다. 실험 시작 시 초기 얼음 온도의 차이를 제외하고는 모든 조건이 동일하다 볼 수 있기 때문에, 이러한 차이는 패드 자체의 마찰열 발생 성능이 타 패드에 비하여 우수한 것에 기인한다고 판단 할 수 있다. 또한 D 패드는 국내의 대부분 국가의 대표팀 선수들이 사용하는 패드로 알려져 있어, 실험 결과와 선수들의 경험에 의한 결과가 일치함을 확인 할 수 있었다.

이는 스윙핑에 대한 여러 연구 결과 중 마찰에 의한 얼음 표면 온도변화가 유발하는 얼음 표면의 마찰계수 변화가 실제 현상을 가장 잘 설명하는 이론적 배경이 될 수 있음을 의미하는 것으로 판단된다. 따라서 연구에서 수행한 컬링 패드 성능 평가 방법이 타당함을 확인 할 수 있었다.

4. 결론 및 논의

현재 WCF의 컬링 브러시 규격에서 패드를 구성하는 천이나 내부의 충전물(form)에 대하여는 대략적인 범위나 규정을 두고 있으나, 패드 성능의 핵심에 해당하는 마찰열의 발생 정도에 대하여는 언급하지 않고 있다. 이는 현재 WCF 규격 내에서도 성능이 상이한 패드가 존재 할 수 있음을 암시하며, 패드의 성능을 빨리 판별할 수 있는 팀은 다른 팀에 비하여 유리한 조건에서 경기 수행이 가능해 질 수 있음을 의미 한다. 따라서 WCF 규격에서 지정하고 있지 않지만, 여러 연구를 통하여 확립된 연구 결과를 이용한 컬링 패드의 성능 평가 방법은 타 팀에 비하여 유리한 경기 조건에 대한 정보를 제공 할 수 있는 중요한 방법이라 판단된다.

연구에서 개발된 평가 방법을 이용하여 선수들이 사용 중인 패드에 대한 주기적인 성능 평가 실험을 실시하면, 실험 결과를 이용해서 패드의 교체 필요 여부를 판별 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 패드 사용 시간과 성능 변화에 대한 데이터가 축적 되면, 이를 이용한 패드별 사용 가능 시간 예측(제품 수명)과 패드 성능에 저하가 발생하기 전에 미리 교체하는 예방 정비가 가능해 질 것으로 기대 된다.

올림픽 동계 종목은 대부분이 장비를 사용하고 있으며, 장비의 성능이 경기력과 밀접한 관계를 가지고 있다. 사용되는 장비 성능의 대부분은 얼음 또는 눈과 관련된 마찰력과 밀접한 관련이 있으나, 얼음 및 눈의 마찰력에 대한 연구는 그리 활발하게 연구되지 않고 있다. 특히 얼음 및 눈에 대한 마찰력의 이론적 배경 확립 연구는, 이를 받침 할 수 있는 실험 연구가 동반되어야 상호 보완적인 연구를 수행 할 수 있으나, 얼음과 눈은 그 생성부터 매우 많은 변수를 가지고 있어 동일한 실험 조건을 생성하는 것 자체가 하나의 연구 주제를 형성 할 수 있을 정도로 방대한 실험 데이터를 요구하고 있다[6, 7]. 따라서 동계 종목 선진국에서도 얼음의 마찰에 대한 연구를 수행하는 전문 실험 시설은 그 사례를 찾아보기 힘들기 때문에, 연구를 통하여 구축된 실험 시설과 이를 이용한 연구는 국내외 얼음 마찰 관련된 연구 수행에 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대 된다. 또한 구축된 장비는 동계 빙상 종목에서 중요한 요소로 지목되는 얼음 생성 조건에 따른 얼음 표면 상태와 얼음의 경도 등에 대한 다양한 연구뿐 아니라 일반적인 생활환경에서 얼음 생성 및 이와 관련된 다양한 연구에 활용 가능할 것으로 기대 된다.

REFERENCES

[1] The Rules of Curling. (2020). *Home page of World Curling Federation*. [Online]. <https://worldcurling.org/competitions/>

[2] Specifications for brushes in elite curling. (2020). *Home page of World Curling Federation*. [Online]. <https://worldcurling.org/competitions/brushes/>

[3] Bradley, J. L. (2009). The sports science of curling: a practical review. *Journal of sports science & medicine*, 8(4), 495-500.

[4] Marmo, B. A., Blackford, J. R. & Jeffree, C. E. (2005). Ice friction, wear features and their dependence on sliding velocity and temperature. *Journal of Glaciology*, 51(174), 391-398. DOI: 10.3189/172756505781829304

[5] Marmo, B. A., Farrow, I. S., Buckingham, M. P. & Blackford, J. R. (2006). Frictional heat generated by sweeping in curling and its effect on ice friction. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials Design and Applications*, 220, 189-197. DOI: 10.1243/14644207JMDA93

[6] Kietzig, A. M. (2010). *Microscopic ice friction*, Doctoral dissertation. University of British Columbia, Vancouver.

[7] Kietzig, A. M., Hatzikiriakos, S. G. & Englezos, P. (2010). Physics of ice friction. *Journal of Applied Physics*, 107(8), 081101-081115. DOI: 10.1063/1.3340792

[8] C. H. Kim & Y. G. Yun. (2008). World Curling Championships game content analysis for performance enhancement. *Korea Society of Physical Education*, 17(2), 47-57.

[9] J. B. Yang & M. S. Lee. (2013). 2018 PyeongChang Olympic Winter Games curling competition against international economic analysis. *Journal of Physical Education Korea*, 22(3), 393-404.

[10] T. W. Kim, Y. J. Moon, J. H. Song, S. C. Lee, S. K. Kil & J. H. Moon. (2014). Comparative Analysis of the Change CoM Displacement, CoM Velocity and Foot-Pressure in Draw and Takeout Curling Skills. *Korea Journal of Sport Science*, 25(2), 268-278.

[11] S. C. Lee, T. W. Kim, S. M. Lee, S. K. Kil & S. B. Hong. (2015). Development of force measurement system of bobsled for practice of push-off phase. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 229(3), 192-198. DOI : 10.1177%2F1754337114565383

[12] T. W. Kim & J. S. Chae. (2016). Analysis of Women's Curling Performance, Digital Media DB Construction and Artificial Neural Networks. *Korea Journal of Sport Science*, 27(2), 402-420.

[13] S. C. Lee, T. W. Kim, S. K. Kil & S. H. Choi. (2017).

Development of a force measurement device for curling sweeping with load cells. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(11), 49-56. DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.11.049

[14] S. K. Kil, H. B. Lee, T. W. Kim, S. C. Lee, J. H. Hwang, H. M. Shim & Y. H. Han. (2017). Development of Shot Accuracy Trainer for Wheelchair Curling. *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, 11(4), 377-383. DOI : 10.21288/resko.2017.11.4.377.

[15] S. C. Lee, S. H. Park, T. W. Kim & S. K. Kil. (2019). Development of speed/trajectory measurement system using smart glasses for beginning or unskilled curlers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 233(1), 145-159. DOI : 10.1177/1754337118809864

김 태 완(Tae-whan Kim)

[정회원]



- 2001년 2월 : 용인대학교 교육대학원 체육교육학과 졸업(교육학석사)
- 2006년 8월 : 성균관대학교 대학원 체육학과 졸업(체육학박사)
- 2009년 7월 ~ 현재 : 한국스포츠정책 과학원 스포츠과학연구실 책임연구위원

- 관심분야 : 스포츠생체역학, 근역학, 스포츠재활
- E-Mail : burumi@kspo.or.kr

이 상 철(Sang-cheol Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 포항공과대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2000년 8월 : 포항공과대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 2002년 1월 ~ 현재 : 한국스포츠정책 과학원 스포츠과학연구실 책임연구위원

- 관심분야 : 자동제어, 로봇, 스포츠측정
- E-Mail : k200lsc@kspo.or.kr, k200lsc@hanmail.net

길 세 기(Se-kee Kil)

[정회원]



- 2000년 2월 : 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2006년 8월 : 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 2009년 7월 ~ 현재 : 한국스포츠정책 과학원 스포츠과학연구실 책임연구위원

- 관심분야 : 스포츠공학, 재활공학, 신호처리
- E-Mail : kclips@kspo.or.kr