

걷는서 가운데 바로지르기 동작 중 사인파(sine wave) 형태의 중심이동에 대한 운동역학적 분석

박동수(세한대학교 교수) · 김형서(세한대학교 부교수)
· 구본호(경희대학교 겸임교수)*

국문초록

이 연구는 걷는서 가운데 바로지르기 동작을 수행하며 신체 중심의 변화가 사인파(sine wave) 형태로 나타남에 따른 특징을 운동학 및 운동역학적 분석을 통해 기술한다. 연구를 위해 지도경력이 5년 이상인 ITF 태권도 지도자 6명이 참여하였으며, 걷는서 가운데 바로지르기 동작을 수행하며 관찰되는 신체중심의 높이변화와 이동속도, 주먹의 최대속도 및 신체의 전방으로 작용하는 모멘트를 산출하였다. 연구 결과, 신체중심의 높이는 사인파의 형태와 유사하게 변화하는 것을 확인할 수 있었으며, 사인파의 가장 높은 지점에서 신체중심의 높이는 신장의 52%, 내딛는 발이 지면에 닿는 순간의 신체중심의 높이는 신장의 46%로 산출되었다. 신체중심의 이동속도는 사인파의 가장 높은 지점(0.8 ± 0.33 %)에서부터 내딛는 발이 지면에 닿는 순간(1.6 ± 0.82 %)까지인 하강국면 동안 0.9 ± 0.87 % 증가하는 것으로 나타났다. 주먹의 최대속도는 7.6 ± 1.44 %이며, 내딛는 발이 지면에 닿기 직전에 신체의 전방으로 작용하는 모멘트는 35.0 ± 4.93 Kg·m으로 나타났다.

주제어 : 걷는서 가운데 바로지르기, 사인파 이동, 사인 웨이브, ITF, 태권도

*bhkoo.caleb@gmail.com

I. 서 론

국제태권도연맹(ITF)의 태권도 수련 방법에서 가장 특징적인 요소 중 하나가 바로 사인과 형태의 중심이동(sine wave movement)일 것이다<그림 1>. 이동하는 동작 중 신체중심의 높이를 높였다가 낮춤으로써 나타나는 둔부(hip)의 움직임이 마치 사인파(sine wave)와 유사하기 때문에 붙여진 호칭이다(Choi Hong Hi, 1999). 국제태권도연맹은 이와 같은 동작을 통해 얻을 수 있는 역학적 이득을 설명하고 있지만, 연구를 통한 검증은 매우 부족한 상황이다.

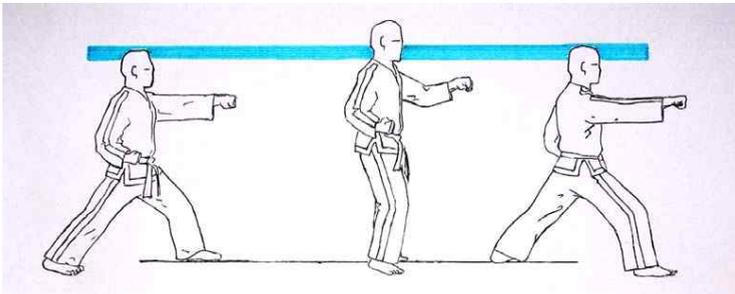


그림 1. Sine-wave movement

본 연구는 ‘사인 웨이브’가 관찰될 수 있는 동작에 대하여 (사)국제태권도연맹 대한민국협회의 추천을 받아 ‘걷는서 가운데 바로지르기’ 동작을 선택하고 동작분석을 하게 되었다. 걷는서 가운데 바로지르기는 ‘앞굽이 몸통 반대지르기’로 보다 익숙한 품(poom) 이름이다. 이러한 명칭의 차이는 국제태권도연맹에서 사용하는 용어가 국기원에서 제정 및 공포한 태권도 기술용어와 다르기 때문이며, 특별히 바로지르기와 반대지르기는 그 의미가 완전히 다르게 쓰이고 있다(국기원, 2005; 최홍희, 1974; Choi Hong Hi, 1999). 여기서 ‘가운데’는 ‘몸통’

을 의미하는데 폼을 완성한 후 주먹의 높이가 어깨높이인 점이 ‘몸통’의 높이(명치)와는 차이를 보인다. 이 부분은 확실히 구분되는 운동학적 차이이긴 하지만 사인과 형태의 중심이동으로 인한 영향은 아닌 것으로 간주하여 분석에서 제외하였다. 유사한 선행연구로 Ishac & Eager (2021)는 ‘sine-wave punch’라는 명칭으로 센서를 이용하여 사인과 형태의 중심이동을 통한 지르기의 결과를 복싱, 가라데, 우슈와 비교하여 제시한 바 있다. 해당 연구에서는 지르기 동작의 결과로 나타난 충격량 및 충격력의 크기, 목표물(punching bag)의 가속도, 신체의 운동에너지와 위치에너지 등에 대한 역학량을 제시하는데 그쳐 사인과 형태의 신체이동에 대한 역학적 분석이 부재한 아쉬움이 있다.

이에 본 연구는 사인과 형태의 중심이동 중 나타나는 특징을 관찰하고 기술함으로써 해당 전략(사인과 중심이동)을 통한 운동역학적 이득에 대하여 다른 시각의 해석을 제안하고자 한다. 이를 위해 걷는서 가운데 바로지르기 동작을 3차원으로 분석하여 신체의 중심이 사인과 형태로 이동하는지에 대한 여부를 확인하고, 이와 관련된 운동학 및 운동역학적 특징을 기술함으로써 사인과 형태의 중심이동에 대한 역학적 이득을 설명하기 위한 기초자료를 기술함으로써 본 연구의 목적을 달성하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 최근 6개월 이내 정형외과적 이상소견이 없으며 5년 이상의 지도경력 및 각종 선수권대회에 출전하여 입상하는 등 국제태권도연맹 대한민국협회의 추천을 받은 6명의 남자 ITF 태권도 지도자로 구성되었다. 대상자의 신체적 특징은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구 대상자(M±SD)

신장(cm)	체중(kg)	연령(year)	수련경력(year)
172.8±4.12	67.5±5.86	35.2±7.00	12.8±5.34

2. 연구방법

1) 자료수집 방법

동작을 분석하기 위해 사용한 프로그램은 Kwon3D XP (Visol Inc., Korea)이며, F4.0, 셔터속력 1/500s, 120FPS로 설정된 8대의 Sony AX700 (Sony Corp. Inc., Japan)을 사용하였다<그림 2>. 카메라는 <그림 3>과 같이 폭 1m, 길이 2m, 높이 2m의 통제점틀(control object)을 설정하여 캘리브레이션(calibration)을 하였으며, 좌우축(mediolateral axis)을 X축, 전후축(anteroposterior axis)을 Y축, 수직축(longitudinal axis)을 Z축으로 하여 전역좌표계(GCS, global coordinate system)를 설정하였다. 8개의 영상을 동기화하기 위해 LED 신호(sync event)를 사용하였고, 그에 따라 각 카메라 영상의 프레임을 정렬하였다.

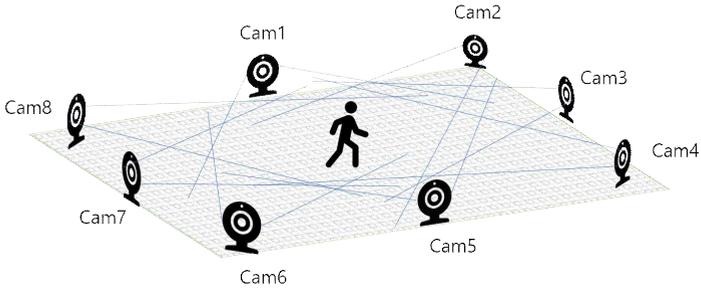


그림 2. Camera setup



그림 3. Control object

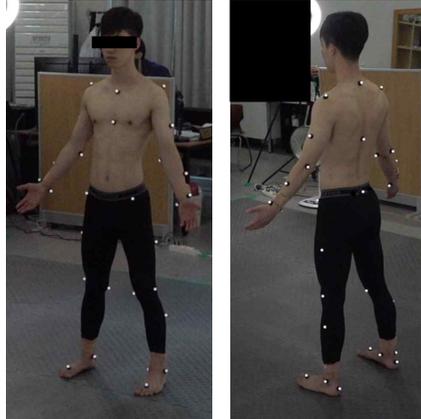


그림 4. Reflective marker setup

인체분절의 움직임을 정량화하기 위해 직경 1.5cm의 반사마커를 37개 부착하였으며 그 위치는 <표 2>와 같다. 이 중 팔꿈치, 무릎, 발목관절의 내측마커(medial marker)는 각 관절의 중심점 위치를 찾기 위해 <그림 4>와 같이 자료수집 전 정지된 상태의 영상(static trial)을 이용하였으며, 동작의 불편을 최소화하기 위해 static trial 후 제거되었다.

표 2. 반사마커 부착위치

Body segments / joints	Anatomical location
Pelvis	anterior superior iliac spine, mid-posterior superior iliac spine
Upper trunk	acromion, 7 th cervical vertebrae (C7), mid-sternoclavicular joint, xiphoid process, 10 th thoracic vertebrae (T10)
Knee joint	lateral, medial epicondyle
Ankle joint	lateral, medial malleolus
Foot	2 nd metatarsal joint, heel
Elbow joint	lateral, medial elbow
Wrist joint	lateral, medial wrist

걷는서 가운데 바로지르기 동작의 분석구간은 왼 걷는서 바로지르기에서 앞으로 이동하여 오른 걷는서 바로지르기까지이며 <그림 5>와 같다. 분석을 위해 설정한 이벤트(event) 시점은 머리의 높이가 최대가 되었을 때(E1)와 내딛는 발(오른 발)이 지면에 닿는 순간(E2)으로 설정하였다.

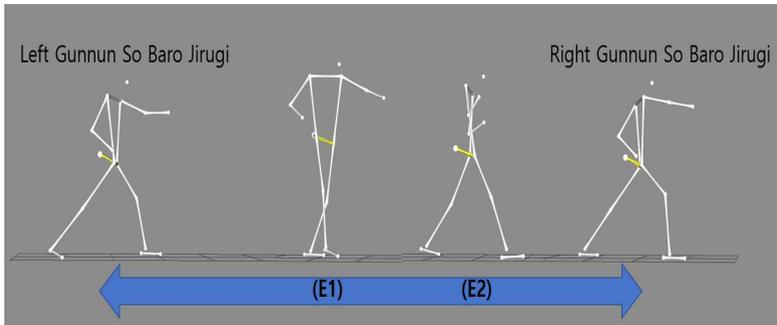


그림 5. Analysis section and events

2) 분석 변인과 산출 방법

본 연구의 목적을 달성하기 위해 분석한 운동학적 변인(kinematic variables)은

동작 중 신체중심의 높이변화, 신체중심의 이동속도, 주먹의 최대속도이며, 운동역학적 변인(kinetic variable)은 이동하여 내딛는 발이 지면에 닿는 순간(E2)에 신체의 전방으로 작용하는 모멘트이다<표 3>.

표 3. Variables

Variables	Remarks
1. Height of body mass center	
2. Velocity of body mass center	kinematic variables
3. Maximum Joomuk velocity	
4. Moment to the front side of the body	kinetic variable

(1) 신체중심의 높이(height of body mass center) 변화

신체중심의 높이는 신체중심의 위치가 나타나는 공간(GCS)에서 수직축(Z축)의 위치로 정의하고 인체계측(anthropometry) 정보를 바탕으로 분석구간 동안의 모든 변화를 기술하였다. 신체중심의 높이는 신장(m)으로 나누어 표준화(normalized)하였으며 신장에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

(2) 신체중심의 이동속도(velocity of body mass center)

신체중심의 위치(P_{mc})가 이동할 때 속도(V_{mc})는 다음의 공식과 같이 산출한다.

$$V_{mc} = | \Delta P_{mc} | / \Delta t$$

(3) 주먹의 최대속도(maximum Joomuk velocity)

지르기 시 주먹의 최대속도는 분석구간 전체에서 오른쪽 손목의 외측에 부착된 마커(right lateral wrist marker)의 속도(V_{RLWRT})가 최대인 값이며 산출공식은

다음과 같다.

$$V_{RLWRT} = | \Delta P_{RLWRT} | / \Delta t$$

(4) 신체의 전방으로 작용하는 모멘트(moment to the front side of the body)

신체의 전방으로 작용하는 모멘트(M_{body})는 내딛는 발(오른발)이 지면에 닿는 순간(E2)에 <그림 6>과 같이 뒤쪽 발(왼발)의 무게중심점부터 신체의 수직중심선과 지면이 만나는 점까지의 거리(d)와 체중(w)을 곱하여 산출하였으며, 공식은 다음과 같다.

$$M_{body} = w \times d$$

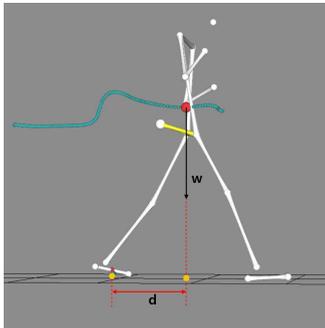


그림 6. Moment calculation

3. 자료처리 방법

카메라를 통해 수집된 모든 영상자료는 DSM (direct solution method) 알고리즘

을 통해 3차원 좌표값으로 변환되었으며, 4차 Butterworth 저역 주파수 필터를 통해 평활화(smoothing) 하였다. 차단주파수(cut-off frequency)는 10Hz로 설정하였다. 본 연구에서 수집되고 산출된 모든 변인에 대하여 기술통계량을 제시하였다.

III. 결과 및 논의

1. 신체중심의 높이변화

본 연구에서 걷는서 가운데 바로지르기 동작 중 신체중심의 높이는 <그림 7>과 같이 변화하였으며, 연구를 위해 설정한 각 시점에서의 높이는 <표 4>와 같다. <그림 7>에서 관찰되는 것과 같이 동작 중 신체높이의 변화양상은 사인파 형태와 유사한 것으로 여겨지며, 머리의 위치가 가장 높을 때 나타나는 신체중심의 높이는 신장의 약 52%, 내딛는 발이 지면에 닿는 순간에는 신장의 46% 수준으로 낮았 이의 변화폭은 신장의 5% 수준에서 나타남을 알 수 있다.

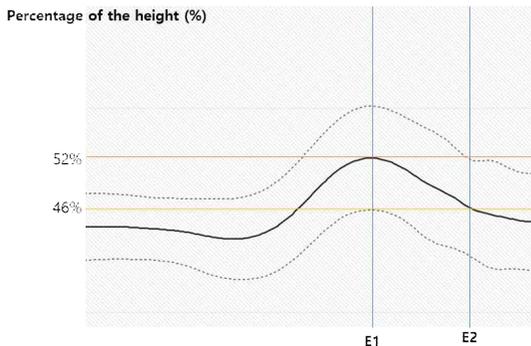


그림 7. Movement of body mass center height

표 4. Height of body mass center

Event	Height of body mass center (M±SD)	Percentage (%) of height (M)
Maximum height of head (E1)	0.52±0.049	52%
Foot strike (E2)	0.46±0.042	46%
E1 - E2	0.05±0.009	5%

2. 신체중심의 이동속도

동작 중 신체중심의 이동속도는 <표 5>와 같다.

표 5. Velocity of body mass center (M±SD)

Event	Velocity (㎞/㉫)
Maximum height of head (E1)	0.8±0.33
Foot strike (E2)	1.6±0.82
E1 - E2	0.9±0.87

걷는서 이동 중 사인과 형태의 중심이동으로 인해 머리의 높이가 최대가 되는 지점(E1)부터 발이 닿는 순간(E2)까지 신체중심의 속도가 0.9 ± 0.87 ㎞/㉫ 증가하는 양상을 보인다. 이와 같은 결과는 앞으로 이동하는 중 내딛는 발이 공중에 있는 동안 체중에 의해 발생하는 모멘트가 주요 원인이라고 판단한다. 신체중심의 이동 속도가 증가하면 신체의 선운동량이 증가하므로 더욱 강한 지르기를 구사할 수 있다. 또한, 산출된 신체중심의 이동 속도의 최대값은 1.8 ± 0.83 ㎞/㉫로 내딛는

발이 지면에 닿는 순간(E2, 1.6 ± 0.82 %)의 전후에서 나타났다.

3. 주먹의 최대속도

본 연구에서 걷는서 가운데 바로지르기 시 나타나는 주먹의 최대속도는 7.6 ± 1.44 %이다. 비록 지르기 형태와 방법의 차이가 존재하지만 선행연구에서 제시된 지르기 시 주먹의 속도와 비교하면 다음과 같다.

강성철 외(2007)는 4가지 유형별 주춤서 몸통지르기 연구에서 각 유형별 주먹의 속도를 제시하였으며, 그중 가장 빠르게 나타난 유형의 주먹 속도는 5.99 ± 0.55 %이다. 태권도 정권지르기의 충격량과 최대속도를 연구한 Ahn (2012)은 지르기 타입별 최대속도가 6.5 ~ 6.8 %로 나타났다고 보고하였으며, 류시현 (2019)은 그의 태권도 앞굽이 바로지르기 연구에서 주먹의 최대속도가 7.54 ± 1.19 %로 산출되었다고 보고하였다.

보고된 선행연구들이 제시한 지르기 시 주먹의 최대속도와 단순히 수치적인 비교를 하는 것에 큰 의미는 없지만, 앞쪽으로 이동하며 지르는 주먹의 속도는 이동방향에 대한 신체의 선속도가 영향을 미칠 수 있으므로 본 연구에서 나타난 주먹의 최대속도가 선행연구의 결과와 비교하여 빠르게 나타났다고 볼 수는 없다.

4. 신체의 전방으로 작용하는 모멘트

분석 결과, 내딛는 발이 지면에 닿는 순간(E2)에 신체의 전방으로 작용하는 모멘트는 35.0 ± 4.93 Kg·m로 나타났다. 사인파 형태의 중심이동은 신체의 무게중심을 위쪽으로 올림으로써 보다 멀리 내딛기에 유리한 조건을 만들게 되며, 신체중심의 증가된 높이에 따른 위치에너지가 가지게 된다. 이는 사인파 형태의 신체중심 이동이 동작의 초기에 하체의 근력을 통한 신체 중심의 투사와 유사한 전략으로 동작하는 것에 기인한 것으로 앞으로 성큼 내딛기 위해 신체중심을 수직축으

로 높이는 전략을 의미한다.

멀리 던지는 동작은 신체중심에서 연직 아래로 내린 수선이 지면과 만나는 점에서 버팀발까지의 거리(d)를 증가시킨다. 이것은 버팀발에서 신체중심까지의 직선 거리를 반경으로 하는 회전운동에 대한 모멘트암(moment arm)의 크기를 증가시키게 된다. 그 결과, 신체중심의 높이가 가장 높은 시점(E1)에서 전방으로 발생하는 모멘트의 크기를 증가시켜 발을 내딛는 순간(E2) 몸통의 선속도가 영향을 받게 된다. 즉, 걷는 동작 중 앞쪽 다리가 공중에 뜬 상태에서 체중에 의해 전방으로 발생한 모멘트로 인해 신체가 앞으로 거꾸러지는 효과가 발생하게 되고, 이로 인해 신체중심의 이동이 회전(사인파의 하강국면) 형태로 나타나며, 앞으로 발을 던질 때 중심이동 회선의 접선 방향으로 몸통의 선속도가 더해짐으로써 신체중심의 전방에 대한 선속도가 증가된 결과가 나타나게 된다. 만약 지르기의 방향이 회선의 접선방향과 동일한 경우에는 증가된 선속도에 비례하여 운동량을 증가시켜 더욱 강한 지르기가 가능해질 것이다.

또한, 신체중심을 높이 올린 만큼 증가된 위치에너지에 의해 사인파의 하강국면에서 전환될 수 있는 운동에너지의 양이 증가하게 된다. 증가된 운동에너지는 운동의 속도로 반영되기 때문에 이점 또한 운동량을 증가시키는 원인이 될 수 있다.

IV. 결론 및 제언

본 연구를 통해 걷는서 가운데 바로지르기 동작을 수행하며 나타난 사인파(sine wave) 형태의 이동에 따른 특징에 대하여 다음과 같이 기술하며, 이에 따른 운동역학적 이득에 대한 다른 관점의 해석 및 후속연구에 대한 제언을 하고자 한다.

첫째, 신체중심의 높이는 사인파의 형태와 유사하게 변화되는 것으로 관찰되

었다. 신체중심의 높이 변화는 신장의 약 46% ~ 52% 범위로 나타났으며, 변화의 폭은 신장의 약 5%로 나타났다.

둘째, 신체중심의 이동속도는 사인파의 가장 높은 지점(0.8 ± 0.33 %)에서부터 내딛는 발이 지면에 닿는 순간(1.6 ± 0.82 %)까지인 하강곡면 동안 0.9 ± 0.87 % 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 중심이동의 방법에서 다소 차이가 나는 WT스타일의 앞굽이 던기와 비교를 통해 사인파 형태의 중심이동에 따른 역학적 이득이 반영된 것임을 확인할 필요가 있다.

셋째, 주먹의 최대속도는 7.6 ± 1.44 %로 산출되었다.

넷째, 내딛는 발이 지면에 닿기 직전에 신체의 전방으로 작용하는 모멘트는 35.0 ± 4.93 Kgm로 나타났다. 이는 1미터 길이의 막대(rod) 끝에 약 35 킬로그램중의 무게가 적용되어 나타나는 거꾸러짐과 같으며, 성큼 멀리 딛는 동작이 그 원인인 것으로 판단한다. 그 결과 사인파의 하강곡면에서 전방으로 향하는 신체의 운동량을 증가시키는 것으로 사료되는 바 이동 중 신체중심의 정점에서 전방을 향해 나타나는 모멘트에 대하여 WT스타일의 앞굽이 던기와 비교가 필요하다고 생각한다.

끝으로, 본 연구를 통해 확인하지 못한 변인 중 지면반력을 이용한 비교분석을 제한한다. 이동의 초기곡면과 내딛는 발의 던기 시 나타나는 유리토크(free torque), 전방으로 추진을 위한 지면반력, 내딛는 다리가 지면을 딛으며 나타나는 지면반력 등에 대한 후속연구를 통해 사인파 형태의 중심이동이 가지는 역학적 특징과 관련하여 보다 다양한 방법의 접근과 이에 대한 장단점 규명이 요구된다.

참고문헌

강성철, 김의환, 신현무, 김성섭, 김태완(2007). 태권도 주춤 서 몸통지르기 유형별 생체역학적 변인 비교 분석. **한국운동역학회지**, 17(4), 201-208.

- 국기원(2006). **태권도 교본**. 오성출판사 서울.
- 류시현(2019). 인체 관절각의 Variability가 태권도 지르기 속도에 미치는 효과. **스포츠
츠사이언스**, 37(1), 51-60.
- 최홍희(1974). **태권도 교서**. 정연사 서울.
- Ahn, J. D. (2012). Comparative analysis of peak impulsive force and maximum velocity according to the Taekwondo Jeongkwon Jirigi's pattern. *The Journal of the Korea Contents Association*, 12(9), 389-395.
- Choi Hong Hi. (1999). TAEKWON-DO. International Taekwon-Do Federation.
- Ishac, K., & Eager, D. (2021). Evaluating martial arts punching kinematics using a vision and inertial sensing system. *Sensors*, 21(6), 1948.

ABSTRACT

A kinetic analysis of the mass center movement of a sine waveform of gunnun so gaunde baro jirugi (a straight body punch during a walking stance)

Park Dong-soo · Kim Hyeong-seo(Sehan university), Koo Bon-ho(Kyung Hee University)

This study describes the characteristics of body mass center changes appearing in the form of sine waves of 'gunnun so gaunde baro jirugi(a straight body punch during a walking stance)' through kinetic and kinematic analysis. Six ITF Taekwondo leaders with more than five years of leadership participated in the study, and the height change and movement speed of the body center, maximum speed of the fist, and moments acting in front of the body were calculated. Studies have shown that the body center height varies similar to the shape of the sine wave, with the body center height of 52% of the height at the highest point of the sine wave and the body center height of 46% of the height at the moment the foot touches the ground. The body-centered movement speed was found to increase 0.9 ± 0.87 m/s during the descent phase from the highest point of the sinusoidal wave (0.8 ± 0.33 m/s) to the moment the foot was touching the ground (1.6 ± 0.82 m/s). The maximum speed of the fist was 7.6 ± 1.44 m/s, and the moment of forward action of the body immediately before the foot was touching the ground was 35.0 ± 4.93 kg·m.

Key words: sine wave movement, sine wave, ITF, Taekwondo

논문투고일 : 2022.03.30.

심사일 : 2022.04.12.

심사완료일 : 2022.04.26.