

# A Comparative Analysis of EMG according to Increasing Numbers of Pitches in Youth Baseball Pitcher

## 청소년 야구 투수의 투구 수 증가에 따른 근전도 비교 분석

Il Bong Park

Department of Sports Rehabilitation, Busan University of Foreign Studies, Busan, South Korea

Received : 06 December 2024

Revised : 20 January 2025

Accepted : 21 January 2025

**Objective:** This study aimed to analyze changes in upper extremity muscle activation during repeated pitching by youth baseball players and to provide foundational data for injury prevention and training enhancement by assessing the impact of fatigue on electromyographic (EMG) signals.

**Method:** The study involved 20 baseball pitchers (10 middle school and 10 high school players) from teams. Participants were selected based on their experience (minimum 5 years of pitching) and absence of injuries in the past six months. Surface electromyography (EMG) was used to measure the activity of eight key upper extremity muscles: trapezius, triceps brachii, biceps brachii, pectoralis major, deltoid, latissimus dorsi, flexor carpi radialis and extensor carpi radialis. Each participant performed fastball pitches on a mound with the pitching motion divided into six phases: wind-up, stride, arm cocking, arm acceleration, arm deceleration, and follow-through. Mixed-design analysis of variance (Mixed ANOVA) was used to evaluate changes in muscle activation, with statistical significance set at  $p < .05$ .

**Results:** As the number of pitches increased, muscle activation across the upper extremity generally decreased, reflecting fatigue-related reductions in neuromuscular coordination. Significant reductions were observed in the trapezius and latissimus dorsi during the wind-up and stride phases and in the extensor carpi radialis, flexor carpi radialis and triceps brachii during the arm cocking and acceleration phases. While high school players demonstrated more stable muscle utilization due to efficient pitching mechanics, both groups experienced noticeable decreases in muscle activation in specific phases, indicating variability in fatigue accumulation based on age and skill level.

**Conclusion:** Youth baseball pitchers exhibited overall reductions in muscle activation during repeated pitching, highlighting the impact of fatigue on inefficient muscle use and increased injury risk. Developing tailored training programs that address age and skill-specific fatigue management and promote balanced muscle development is essential. Such approaches are expected to improve pitching mechanics, prevent injuries, and enhance the performance of youth players.

**Keywords:** Baseball pitching, Electromyography, Injury prevention

### Corresponding Author

Il Bong Park

Department of Sports  
Rehabilitation, Busan  
University of Foreign Studies,  
B214, 65, Geumsaem-ro 485-gil,  
Geumjeong-gu, Busan, 46234,  
South Korea

Email : [fnjboss@bufs.ac.kr](mailto:fnjboss@bufs.ac.kr)

## INTRODUCTION

현대 스포츠 과학의 발달과 함께 청소년 야구선수들의 경기력 향상을 위한 체계적인 훈련과 관리의 중요성이 강조되고 있다. 야구는 신체의 정교한 움직임과 기술적 숙련도를 요구하는 스포츠로, 특히 투구 동작은 경기의 성패를 좌우하는 핵심 요소 중 하나이다(Kusafuka et al., 2020). 특히 투수는 경기 중 반복적으로 투구 동작을 수행하며, 이 과정에서 어깨, 팔꿈치, 그리고 코어 근육에 큰 부하가 가해진다(Aso & Kagaya, 2023). 투수 포지션은 팀의 선수 구성에서 가장 많은 인원으로 구성되어 있으며, 프로 야구팀뿐만 아니라 청소년 야구팀에서도 같은 비율로 형성되어 있어, 결국 야구선수 전체 포지션 중 가장 많은 선수 구성을 이루고 있다. 청소년 선수들의 경우 신체가 아직 성장 중이기 때문에 무리한 반복 투구는 근골격계 부상의 위험성을 더욱 증대시킬 수 있다(Oliver, Weimar & Henning, 2016). 이에 따라 반복 투구가 근육의 활성화 및 피로 누적에 미치는 영향을 분석하는 것은 매우 중요한 연구 주제가 될 것으로 판단된다.

투구 동작은 주로 상지의 움직임으로 발생하기 때문에, 팔꿈치와 어깨와 같은 상지 부상이 연령에 관계없이 흔하게 발생하고 있으며(Valovich McLeod et al., 2011), 특히 야구에서는 상지 부위의 부상율이 꾸준히 증가하고 있는 것으로 나타났다(Conte, Camp & Dines, 2016). Hootman, Dick과 Agel (2007)은 고교, 대학, 프로 야구선수의 부상율이 각각 1,000명당 4.0, 5.8, 3.61건으로 나타났으며, 그 중 어깨와 팔꿈치 부상의 발생률이 가장 높았다고 보고하였다. 즉, 고교 및 대학생이 프로선수보다 부상율이 더욱 높은 것으로 나타났다. 이러한 야구선수들의 부상은 만성적으로 나타나는 경우가 많으며, 그 원인은 반복적인 투구(Camp et al., 2018) 및 투구량 증가(Lyman et al., 2001)가 주요 요인인 것으로 나타났다. 또한 청소년들을 대상으로 실시된 연구에 따르면, 한 시즌 부상률을 조사한 결과 약 30%의 유소년 선수들이 어깨나 팔꿈치에서 통증을 경험했다고 보고하였다(Lyman et al., 2001). 또한 전체 자쪽결인대(ulnar collateral ligament) 재건 수술의 13%가 고교 야구선수들로, 청소년 선수들에게 과사용 부상에 따른 수술률이 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다(Petty, Andrews, Fleisig & Cain, 2004).

한편, 근전도(Electromyographic, EMG) 측정 및 분석은 근육의 활동 상태와 중추신경계로부터의 신경 전달 상태를 정량적으로 파악할 수 있어 임상학적, 생체역학적, 운동생리학적으로 신체 활동을 해석하는 중요한 수단으로 널리 활용되고 있다(Gerald & Gans, 1986). 특히 EMG는 투구 동작에서 주요 근육들의 활성도를 정밀하게 분석할 수 있어, 투구 시 어떤 근육이 얼마나 동원되는지를 과학적으로 규명할 수 있다(Park, 2007). 이러한 분석은 투구 동작의 효율성을 높이고 부상 위

험을 줄이는 데 중요한 정보를 제공한다. 그러나 기존 연구들은 주로 성인 또는 프로 야구선수들을 대상으로 근활성도 분석을 진행해왔으며(Jobe, Moynes, Tibone & Perry, 1984), 청소년 야구선수들을 대상으로 한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 청소년 선수들은 성장기 특성상 근골격계가 완전히 발달하지 않았기 때문에, 반복적인 투구 동작에서 성인과 다른 근활성도 패턴을 보일 가능성이 크다. 또한, 성장 단계에 따른 근육 발달과 운동 수행 능력의 차이를 고려할 때, 청소년 투수들의 근활성도 특성을 정확히 이해하는 것은 부상 예방과 효율적인 훈련 프로그램 설계에 필수적이라고 판단된다. 특히, 반복 투구로 인한 피로 누적은 어깨와 팔꿈치 부상으로 이어질 수 있으며, 이는 성장기 선수들의 장기적인 경기력 저하와 연결될 수 있다. 따라서 청소년 야구선수들에게 EMG 분석은 다음과 같은 이유에서 필요하다. 첫째, 성장 단계 별로 근활성도 차이를 규명함으로써 개별 맞춤형 훈련 프로그램을 개발할 수 있다. 둘째, 반복 투구에 따른 근피로와 부상 위험도를 사전에 파악하여 효과적인 부상 예방 전략을 수립할 수 있다. 셋째, 근육 활성화 패턴을 분석해 효율적인 투구 메커니즘을 제시함으로써 경기력 향상에 기여할 수 있다. 이에 본 연구는 청소년 야구선수 중 투수를 대상으로 중학생과 고등학생으로 연령을 구분하여 반복 투구에 따른 상지 근육의 활성도를 분석하고 비교함으로써, 청소년 투수들에게 적합한 훈련 방안과 부상 예방 전략을 제시하고자 한다. 이는 궁극적으로 청소년 선수들의 건강한 성장과 경기력 향상에 기여하는 데 목적이 있다.

## METHOD

### 1. 연구대상자

본 연구대상자는 최근 6개월 이내 부상이력이 없는 자로서, 먼저 부모의 동의 및 지도자의 동의를 구하고, 병원을 내방하여 본 연구의 목적을 의사에게 설명한 후 의학검진을 실시, 본 연구 수행에 아무런 제한사항이 없는 선수들을 대상으로 선정하였다. 그리고 B시 소재 중학교 및 고등학교 학생 중 경력이 모두 5년 이상인 선수들로서 포지션은 투수로 하였으며, 최근 6개월 이내 경쟁시합(친선 및 연습경기 제외) 경기에 2회 이상 출전하여 투구한 경험이 있는 자들로 각각 10명씩 총 20명을 선정하였다. 연구대상자들의 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

### 2. 연구 방법

본 연구는 반복 투구에 따른 EMG를 통한 근활성도를 측정, 분석하는데 있으며, 분석을 위해 투구 시 구간을 6구간으

**Table 1.** Demographic characteristics of the subjects

N=20

Groups	Age (yr.)	Weight (kg)	Height (cm)	BMI
Middle school (n=10)	15.55±0.96	68.45±5.12	171.65±3.33	23.47±2.91
High school (n=10)	18.34±1.01	74.12±3.89	179.76±2.21	23.76±2.34

Values are M ± SD. BMI: Body Mass Index

로 설정하였다. EMG 데이터 수집은 각 구간을 카메라(Vicon, USA)와 EMG 장비를 동조하여 수집하였으며, EMG 데이터 수집 절차와 투구 시 구간설정은 다음과 같다. 또한 측정시기는 오프시즌(off-season)에 실시하였다.

### 1) EMG 측정 및 도구

본 연구는 근육별 표면(surface) 근전도 장비를 통한 근육 활성도를 분석하였으며, 표면 근전도 측정은 투구 동작에 사용되는 상지 주요한 근육의 상대적 활동 수준을 측정하기 위하여 SENIAM 권고하는 방식을 준수하였다. 근전도 측정 자료의 노이즈 최소화를 위해 근전도 부착면에 면도기를 가지고 제모를 실시 후 알코올 솜으로 피부의 노폐물을 제거하였다. 각 근육의 부착위치는 근육의 기시부(origin)와 정지부(insertion)의 근육이 가장 발달한 곳(muscle belly)에 패치를 부착하였다. 표면전극은 지름 1 cm, 전극 간의 간격이 2 cm인 일회용 이극표면전극(disposable bipolar surface electrode)을 사용하였으며, 접지전극은 지름이 1 cm인 일회용 일극표면전극(disposable unipolar surface electrode)을 사용하였다. 전극은 1 cm의 은/염화은(Ag/AgCl) 전극을 사용하였다. 근전도 신호의 원 데이터(raw data) 평균값을 구해 영점조정(zeroing) 과정을 거친 후 20-500 Hz로 대역 통과 필터링(bandpass filtering)하였다. 증폭된 아날로그 근전도 신호는 AD 컨버터에 의해 1,000 Hz로 샘플링 하였으며, RMS (Root Mean Square)를 20 ms로 설정하였다. 실험 장비는 <Table 2>와 같다.

상지의 선정 근육은 주측 팔(dominance)의 등세모근의 위쪽 섬유(Trapezius-upper fibers, TP), 위팔세갈래근의 긴갈래(Triceps Brachii-long head, TC), 위팔두갈래근의 긴갈래(Biceps Brachii-long head, BC), 큰가슴근(Pectoralis major, PM), 노쪽손목굽힘근(Flexor carpi radialis, FR), 노쪽손목펴기근(Extensor carpi radialis, ER), 어깨세모근의 앞쪽 섬유(Deltoid-anterior fibers, DT), 넓은등근(Latissimus dorsi, LD)으로 총 8개의 근육을 선정하였으며, EMG 분석 데이터는 최대 수의적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)을 측정하였으며, 그 데이터에 따른 %MVIC 값으로 설정하였다. 근육의 EMG 부착 부위는 <Figure 1>과 같다. MVIC 측정 후 5분간의 휴식시간을 주었으며, 휴식시간 후 대상자들은 투구

전 워밍업을 각자 충분히 가진 후 투구를 시작하였다. 투구는 15개씩을 1이닝으로 적용하여 총 6이닝을 투구하였으며, EMG 데이터는 1이닝(15번), 4이닝(45번), 6이닝(90번)의 마지막 투구를 수집하였다. 각 이닝 후 휴식시간은 10분으로 적용하였다(Park, 2007).

**Table 2.** EMG measurement devices

Equipment	Model	Manufacture
3D Motion analysis		Vicon / USA
EMG equipment	Wave wireless EMG	Cometa / Italy
Surface electrode collar	AG/AgCl 2223	3M. Korea

**Figure 1.** EMG electrodes attach region

### 2) MVIC 측정

본 연구에서는 최대 자발적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)을 측정하기 위해 수동 방식(manual)을 활용하여 표준화된 절차를 따랐다. MVIC은 근육 활성도를 측정하기 위한 기초 자료로 널리 사용되며, 이를 통해 각 근육의 최대 근활성도를 확인할 수 있다(Senff, Pieterse & Stegeman, 2016; Hermens et al., 2000). 측정 과정에서 대상자는 근육의 기능에 따라 적절한 자세를 취하도록 하였으

며, 검사자는 대상자가 근육의 최대 수축 상태를 유지할 수 있도록 저항을 점진적으로 가하였다(Figure 2).

위등세모근(Upper Trapezius, 상부 섬유)의 경우, 대상자가 앉은 상태에서 어깨를 어깨올림 하도록 지시하였고, 검사자는 어깨 위에 손을 올려 아래 방향으로 저항을 가하였다. 위팔세갈래근(Triceps Brachii)은 팔꿈치를 90도로 굽힌 상태에서 팔을 뒤로 밀며 폼하도록 하였고, 검사자는 팔꿈치 뒤쪽에 손을 대고 굽히는 방향으로 저항을 가하였다. 위팔두갈래근(Biceps Brachii)은 팔꿈치를 90도로 굽히고 손바닥이 위를 향하게 하여 수축하도록 하였으며, 검사자는 손목 앞쪽에 손을 대고 팔꿈치를 펴는 방향으로 저항을 가하였다. 큰가슴근

(Pectoralis Major)은 팔을 90도로 들어 가슴 앞쪽으로 모으는 동작과 약간 아래로 내리며 모으는 동작을 각각 수행하도록 하였고, 검사자는 손목 부위에서 바깥 방향과 위쪽으로 각각 저항을 가하였다. 노쪽손목굽힘근(Flexor Carpi Radialis)은 손목을 굽히고 약간 노쪽으로 기울이도록 하였으며, 검사자는 손바닥과 노뼈 쪽에 손을 대고 손목을 신전 방향으로 저항을 가하였다. 노쪽손목펴기근(Extensor Carpi Radialis)은 손목을 폼하고 약간 노쪽으로 기울이도록 하였으며, 검사자는 손등과 노뼈 쪽에 손을 대고 손목을 굽힘 방향으로 저항을 가하였다. 어깨세모근(Deltoid)은 팔을 옆으로 들어올리는 동작을 수행하도록 하였으며, 검사자는 팔꿈치 부위에 저항을 제공하여



Figure 2. MVIC measurement

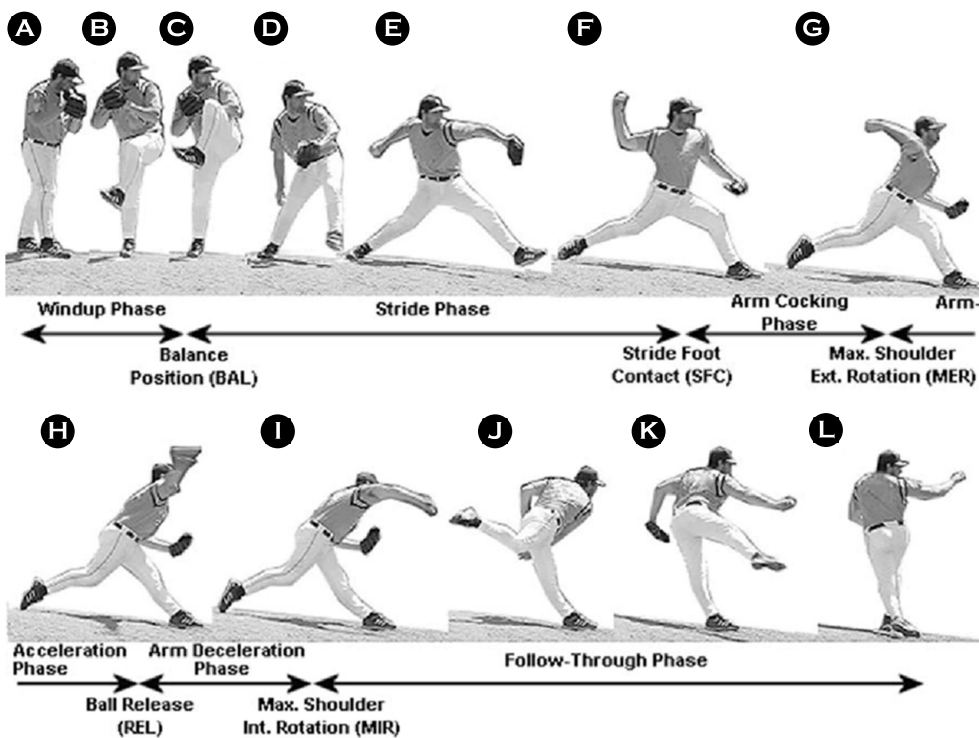


Figure 3. The six phases of pitching

최대 수축 상태를 유도하였다. 넓은등근(Latissimus Dorsi)은 팔을 뒤로 밀고 약간 안쪽으로 당기도록 하였으며, 검사자는 손목 부위를 앞으로 밀어 저항을 가하였다. Hermens 등 (2000)에 따르면, MVIC 측정은 근육 활성도를 비교하고 분석하기 위한 신뢰할 수 있는 방법으로, 본 연구는 이를 바탕으로 측정 프로토콜을 구성하였다.

3) 피칭의 동작 구간 설정 및 분석 방법

야구에서 피칭의 동작 구간은 총 여섯 단계로 나누어져 있으며(Dillman, Fleisig & Andrews, 1993), 카메라 분석에 의하여 구간을 나누었다. 피칭 구간은 와인드업(Wind-up, Figure 3, A-C), 스트라이드(Stride, Figure 3, C-F), 암 코킹(Arm cocking, Figure 3, F-H), 암 가속(Arm acceleration, Figure 3, H-I), 암 감속(Arm deceleration, Figure 3, I-J), 팔로 스로우(Follow through, Figure 3, J-K) 구간들이며, <Figure 3>과 같다. 또한 피칭은

대한야구소프트볼협회의 규격에 따라 마운드 높이와 거리를 설정하였으며, 피칭 장비배치는 <Figure 4>와 같다. 투구 시 구질은 직구(fast ball)로 통일하였다.

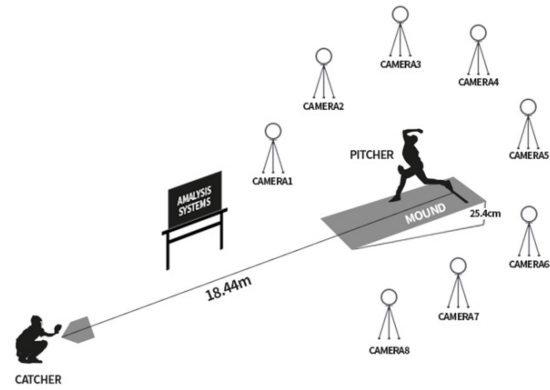


Figure 4. Pitching and Analysis devices setting

Table 3. The muscle activation of wind-up phase between group and inning (%MVIC)

Muscle	Group	1 inning	4 inning	6 inning	F value			
					One-way ANOVA	Group	Inning	Group × Inning
TP	MS	13.61±6.21	13.14±5.45	10.95±4.11	2.001*	1.008*	2.561**	2.998**
	HS	13.99±6.22	16.01±9.13	10.23±5.11	4.109*			
TC	MS	5.44±3.01	5.12±3.71	4.91±1.99	3.998	1.782	1.609	1.994
	HS	5.61±4.09	5.78±3.01	6.02±3.09	4.093			
BC	MS	6.99±4.98	7.01±5.93	7.60±4.78	2.284	2.904	5.906	3.191
	HS	7.25±6.92	7.66±4.89	6.71±4.33	4.120			
PM	MS	6.88±4.18	7.47±4.12	7.88±4.98	2.204	3.111	4.811	1.909
	HS	5.98±5.18	6.12±4.38	5.98±3.99	2.997			
FR	MS	13.07±8.61	13.98±6.07	14.17±9.01	4.691	4.054	1.028	2.118
	HS	12.99±5.66	13.67±5.01	14.76±6.28	3.906			
ER	MS	16.88±6.90	16.14±7.17	17.66±8.26	4.901	2.001	1.928	5.901
	HS	17.64±6.62	18.11±6.29	18.11±7.90	2.901			
DT	MS	8.19±6.01	8.88±6.07	9.57±6.04	3.005	3.602	4.186	2.874
	HS	7.04±4.43	7.91±5.02	8.88±6.04	1.209			
LD	MS	11.41±7.48	10.09±5.81	8.18±6.31	2.891*	6.114*	3.920*	2.186*
	HS	10.12±6.91	14.01±7.02	13.07±6.01	2.881			

Value = M ± SD, \*: p<.05, \*\*: p<.01, \*\*\*: p<.001

TP: Trapezius, TC: Triceps, BC: Biceps, PM: Pectoralis major, FR: Flexor radialis, ER: Extensor radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle School Student, HS: High School Student

### 3. 통계처리

본 연구의 자료는 SPSS for Windows (Version 23.0, IBM Corp., USA) 통계 프로그램을 사용하여 분석하였으며, 모든 값은 평균과 표준편차(M ± SD)로 나타내었다. 중학생과 고등학생 두 집단의 야구 투구 이닝(1이닝, 4이닝, 6이닝)에 따른 상지 8군데 근육의 근전도(EMG) 변화를 분석하기 위해 Two-way mixed design ANOVA를 수행하였다. 분석에 앞서 데이터의 정규성을 확인하기 위해 샤피로-윌크(Shapiro-Wilk Test) 검정을 실시하였으며, 모든 변수에서 정규성을 만족함( $p < .05$ )을 확인하였다. 또한, 반복 측정 데이터에 대한 구형성 가정은 마우치리 검정(Mauchly's Test)을 통해 검토하였으며, 구형성 가정이 위배된 경우 Greenhouse-Geisser 수정을 적용하였다. 유의수준은  $p < .05$ 로 설정하였으며, 그룹(중학생, 고등학생) 간 차이와 이닝 내 반복 측정의 주효과 및 그룹 × 이닝 간 상호작용 효과를  $F$ -검정을 통해 평가하였다. 유의미한 차이

가 발견된 경우, 사후 분석으로 Tukey HSD를 사용하여 그룹 간 및 이닝 간 구체적인 차이를 분석하였다. 또한, 분석 결과는 효과크기(Partial Eta Squared)를 포함하여 보고하였다.

## RESULTS

### 1. 와인드 업(Wind-up) 구간

이닝에 따른 와인드 업 구간의 근전도 변화는 <Table 3>에 제시하였다. Two-way mixed design ANOVA 결과, 등세모근과 넓은등근에서 집단(Group), 이닝(Time), 집단 × 이닝 상호작용(Group × Time) 효과가 유의미한 것으로 나타났다( $p < .05$ ). 사후 분석 결과, 등세모근에서는 중학생과 고등학생 그룹 모두 이닝이 진행됨에 따라 근전도 값이 유의미하게 감소하였으며( $p < .05$ ), 특히 1이닝과 6이닝 간의 차이가 가장 두드러졌다( $p < .01$ ). 또한, 중학생 그룹이 고등학생 그룹에 비해 전반적

**Table 4.** The muscle activation of stride phase between group and inning (%MVIC)

Muscle	Group	1 inning	4 inning	6 inning	F value			
					One-way ANOVA	Group	Inning	Group × Inning
TP	MS	58.59±20.14	55.34±17.29	51.18±30.61	3.657*	9.667*	4.561**	3.625**
	HS	61.54±28.19	59.37±26.31	55.67±19.44	1.652*			
TC	MS	16.75±7.41	15.68±8.73	14.59±6.34	0.647	2.356	4.015	3.336
	HS	17.87±9.46	16.19±7.27	18.57±8.66	5.632			
BC	MS	19.56±6.07	20.37±8.33	18.89±7.78	3.364	5.556	3.652	1.258
	HS	21.17±11.34	21.31±9.28	20.74±8.41	2.594			
PM	MS	11.18±6.07	12.54±9.45	13.01±5.57	4.623	0.254	1.690	3.998
	HS	10.47±7.21	9.87±6.74	10.84±7.51	3.667			
FR	MS	22.47±10.57	23.74±11.46	24.51±10.36	2.653	4.891	0.996	1.632
	HS	23.19±10.17	21.37±12.64	19.79±11.88	3.154			
ER	MS	47.18±20.49	48.47±16.37	46.07±21.94	1.114	5.656	2.669	1.654
	HS	45.48±18.79	46.93±23.71	44.38±20.64	0.631			
DT	MS	48.67±18.67	49.31±18.19	40.04±20.72	8.984*	5.663***	6.369**	2.989***
	HS	41.81±21.87	40.17±19.60	41.17±28.37	7.741			
LD	MS	30.49±18.27	29.47±20.52	29.27±20.43	5.363	6.361	0.364	2.656
	HS	29.74±19.35	30.31±14.74	31.34±20.44	6.395			

Value = M ± SD, \*:  $p < .05$ , \*\*:  $p < .01$ , \*\*\*:  $p < .001$

TP: Trapezius, TC: Triceps, BC: Biceps, PM: Pectoralis major, FR: Flexor radialis, ER: Extensor radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle School Student, HS: High School Student

으로 더 큰 감소를 보였다( $p<.05$ ). 넓은등근에서는 중학생 그룹에서만 이닝 간 유의미한 감소가 관찰되었으며( $p<.05$ ), 고등학생 그룹에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 두 집단 간 비교에서는 고등학생 그룹이 중학생 그룹보다 전반적으로 더 높은 근전도 값을 유지하였다( $p<.05$ ). 다른 근육인 위팔세갈래근, 위팔두갈래근, 큰가슴근, 노쪽손목굽힘근, 노쪽손목펴근, 어깨세모근에서는 이닝 별로 근전도 값의 감소 경향이 있었으나, 통계적으로 유의미한 차이는 확인되지 않았다.

2. 스트라이드(Stride) 구간

이닝에 따른 스트라이드 구간의 근전도 변화는 <Table 4>에 제시하였다. Two-way mixed design ANOVA 결과, 등세모근과 어깨세모근에서 집단(Group), 이닝(Time), 집단 × 이닝 상호작용(Group × Time) 효과가 유의미한 것으로 나타났다

( $p<.05$ ). 사후 분석 결과, 등세모근에서는 중학생과 고등학생 그룹 모두 이닝이 진행됨에 따라 근전도 값이 유의미하게 감소하였으며( $p<.05$ ), 중학생 그룹에서의 감소폭이 더 크게 나타났다. 어깨세모근에서는 중학생 그룹에서만 이닝 간 유의미한 감소가 관찰되었으며( $p<.05$ ), 고등학생 그룹에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 두 집단 간 비교에서는 고등학생 그룹이 중학생 그룹보다 전반적으로 더 높은 근전도 값을 유지하였다( $p<.001$ ). 다른 근육인 위팔세갈래근, 위팔두갈래근, 큰가슴근, 노쪽손목굽힘근, 노쪽손목펴근, 넓은등근에서는 이닝 별로 근전도 값의 감소 경향이 있었으나, 통계적으로 유의미한 차이는 확인되지 않았다.

3. 암 코킹(Arm cocking) 구간

이닝에 따른 암 코킹 구간의 근전도 변화는 <Table 5>에 제시하였다. Two-way mixed design ANOVA 결과, 위팔세갈

Table 5. The muscle activation of arm cocking phase between group and inning (%MVIC)

Muscle	Group	1 inning	4 inning	6 inning	F value			
					One-way ANOVA	Group	Inning	Group × Inning
TP	MS	32.01±20.31	39.18±22.05	35.15±19.05	3.004	1.115	1.117	2.729
	HS	33.18±13.81	35.92±20.11	35.98±19.62	4.382			
TC	MS	43.92±19.61	33.18±15.02	31.00±19.97	8.822**	5.097**	3.891**	5.921***
	HS	41.81±22.56	40.13±27.07	41.91±21.08	2.992			
BC	MS	20.34±10.98	17.18±10.01	14.91±5.77	5.296**	5.188*	4.704**	5.019***
	HS	26.55±12.71	25.88±11.02	18.98±11.99	2.997**			
PM	MS	60.07±31.96	59.19±30.11	56.01±29.41	5.018	4.994	4.013	4.118
	HS	59.81±28.23	59.01±28.05	55.12±27.91	5.001			
FR	MS	40.89±18.79	40.01±20.26	31.78±19.09	2.902*	5.111**	4.901***	4.991***
	HS	42.88±24.94	33.14±20.01	30.02±19.77	3.061**			
ER	MS	77.88±39.09	76.12±30.93	62.97±37.02	5.987**	8.205**	6.821***	8.099***
	HS	76.09±30.98	70.98±31.08	63.24±30.11	5.112**			
DT	MS	10.02±3.26	11.18±4.38	10.27±4.61	4.007	5.821	7.051	6.927
	HS	12.38±5.11	11.72±5.61	12.01±2.01	3.189			
LD	MS	45.11±20.77	46.18±19.88	43.09±28.99	1.777	1.901	6.091	4.881
	HS	49.23±29.12	49.01±32.01	46.82±25.07	2.787			

Value = M ± SD, \*:  $p<.05$ , \*\*:  $p<.01$ , \*\*\*:  $p<.001$

TP: Trapezius, TC: Triceps, BC: Biceps, PM: Pectoralis major, FR: Flexor radialis, ER: Extensor radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle School Student, HS: High School Student

**Table 6.** The muscle activation of arm acceleration phase between group and inning (%MVIC)

Muscle	Group	1 inning	4 inning	6 inning	F value			
					One-way ANOVA	Group	Inning	Group × Inning
TP	MS	66.26±26.34	69.91±30.89	66.04±31.10	4.008	1.157	6.562	3.661
	HS	66.91±21.71	67.98±29.11	65.33±21.04	2.781			
TC	MS	89.19±44.04	88.01±30.67	85.99±38.01	2.999	4.901	5.761	4.814
	HS	90.24±41.02	88.26±30.06	90.28±31.92	2.114			
BC	MS	20.88±8.17	20.18±8.88	14.78±7.76	3.901*	3.117*	7.178*	6.012**
	HS	21.97±11.43	19.02±10.71	18.65±12.93	5.015**			
PM	MS	54.09±20.13	50.91±29.53	39.99±19.97	3.026**	1.998*	6.028**	4.938***
	HS	59.50±31.34	54.22±29.41	49.09±28.88	5.901*			
FR	MS	91.81±55.08	92.92±35.03	82.99±41.19	1.908**	4.319***	7.098***	3.991***
	HS	95.99±50.13	98.01±30.69	81.78±40.01	5.307***			
ER	MS	49.18±25.88	41.09±27.11	35.12±20.49	7.908***	5.014***	6.134***	4.111***
	HS	55.90±30.18	51.03±30.28	43.22±20.07	5.015**			
DT	MS	34.17±18.01	26.19±20.13	24.18±19.29	3.321**	6.817**	2.094**	6.121***
	HS	35.71±23.34	30.98±16.04	25.92±15.56	4.002**			
LD	MS	78.79±36.65	77.47±30.21	77.25±19.97	3.595	6.997	5.610	6.107
	HS	80.11±50.49	82.57±19.63	79.46±34.61	4.021			

Value = M ± SD, \*:  $p < .05$ , \*\*:  $p < .01$ , \*\*\*:  $p < .001$

TP: Trapezius, TC: Triceps, BC: Biceps, PM: Pectoralis major, FR: Flexor radialis, ER: Extensor radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle School Student, HS: High School Student

래근, 위팔두갈래근, 노쪽손목굽힘근, 노쪽손목펴기근에서 집단(Group), 이닝(Time), 집단 × 이닝 상호작용(Group × Time) 효과가 유의미한 것으로 나타났다( $p < .05$ ). 사후 분석 결과, 위팔두갈래근에서는 중학생 그룹에서 이닝이 진행됨에 따라 유의미한 감소가 나타났으며( $p < .01$ ), 고등학생 그룹에서는 유의미한 차이가 관찰되지 않았다. 위팔두갈래근에서는 중학생과 고등학생 그룹 모두에서 이닝 간 유의미한 감소가 관찰되었다( $p < .05$ ). 노쪽손목굽힘근과 노쪽손목펴기근에서는 중학생과 고등학생 그룹 모두 이닝이 진행됨에 따라 유의미한 감소를 보였으며( $p < .01$ ), 중학생 그룹에서의 감소폭이 더 크게 나타났다( $p < .05$ ). 다른 근육인 등세모근, 큰가슴근, 어깨세모근, 넓은등근에서는 이닝 별로 근전도 값의 감소 경향이 있었으나, 통계적으로 유의미한 차이는 확인되지 않았다.

#### 4. 암 가속(Arm acceleration) 구간

이닝에 따른 암 가속 구간의 근전도 변화는 <Table 6>에 제시하였다. Two-way mixed design ANOVA 결과, 위팔두갈래근, 큰가슴근, 노쪽손목굽힘근, 노쪽손목펴기근, 어깨세모근에서 집단(Group), 이닝(Time), 집단 × 이닝 상호작용(Group × Time) 효과가 유의미한 것으로 나타났다( $p < .05$ ). 사후 분석 결과, 위팔두갈래근에서는 중학생과 고등학생 그룹 모두 이닝이 진행됨에 따라 유의미하게 감소하였으며( $p < .05$ ), 중학생 그룹의 감소폭이 더 크게 나타났다. 큰가슴근에서는 중학생과 고등학생 그룹 모두 유의미한 감소를 보였으며( $p < .05$ ), 중학생 그룹에서 더 큰 변화가 관찰되었다. 노쪽손목굽힘근과 노쪽손목펴기근에서도 이닝이 진행됨에 따라 두 그룹 모두 유의미한 감소를 나타냈으며( $p < .01$ ), 중학생 그룹에서의 감소폭이 더 컸다. 어깨세모근 역시 두 그룹에서 모두 유의미하게 감소하였으나( $p < .05$ ), 중학생 그룹에서 더 큰 변화를 보였다.



**Table 7.** The muscle activation of arm deceleration phase between group and inning (%MVIC)

Muscle	Group	1 inning	4 inning	6 inning	F value			
					One-way ANOVA	Group	Inning	Group × Inning
TP	MS	50.09±31.18	49.88±19.23	47.91±22.98	4.091	5.123	3.081	1.982
	HS	49.11±22.21	51.98±25.98	49.23±30.12	6.117			
TC	MS	49.88±29.11	51.67±21.07	48.12±27.17	3.117	6.114	3.001	2.191
	HS	50.11±21.39	48.81±26.91	51.99±30.18	4.001			
BC	MS	38.03±21.14	42.58±20.39	41.81±20.91	3.229	4.116	3.092	4.511
	HS	41.28±20.47	39.01±22.19	42.88±20.99	2.892			
PM	MS	27.63±16.09	25.88±13.09	23.11±14.19	3.117	3.007	1.992	5.118
	HS	25.01±18.39	25.11±16.89	25.23±15.72	2.924			
FR	MS	68.38±33.17	61.01±29.99	57.09±29.99	6.008**	6.997**	5.002**	6.919**
	HS	71.08±32.33	70.11±30.92	61.16±30.88	5.994**			
ER	MS	40.19±20.78	32.09±20.99	26.11±16.48	5.112**	7.114*	4.908**	4.990***
	HS	39.88±19.99	40.19±20.14	30.19±14.91	5.909**			
DT	MS	58.22±23.93	49.01±22.29	46.12±20.31	5.112*	7.223*	5.091*	7.114**
	HS	59.11±30.17	51.11±28.28	48.12±20.82	5.111*			
LD	MS	60.88±30.38	52.91±28.91	43.09±20.12	3.491**	4.111	6.921**	3.888***
	HS	59.34±22.09	52.37±22.19	46.31±21.02	5.801**			

Value = M ± SD, \*:  $p < .05$ , \*\*:  $p < .01$ , \*\*\*:  $p < .001$

TP: Trapezius, TC: Triceps, BC: Biceps, PM: Pectoralis major, FR: Flexor radialis, ER: Extensor radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle School Student, HS: High School Student

등세모근, 위팔세갈래근, 넓은등근에서는 이닝 별로 근전도 값의 감소 경향이 있었으나, 통계적으로 유의미한 차이는 확인되지 않았다.

### 5. 암 감속(Arm deceleration) 구간

이닝에 따른 암 감속 구간의 근전도 변화는 <Table 7>에 제시하였다. Two-way mixed design ANOVA 결과, 노쪽손목굽힘근, 노쪽손목펴근, 어깨세모근, 넓은등근에서 집단(Group), 이닝(Time), 집단 × 이닝 상호작용(Group × Time) 효과가 유의미한 것으로 나타났다( $p < .05$ ). 사후 분석 결과, 노쪽손목굽힘근과 노쪽손목펴근은 중학생과 고등학생 그룹 모두 이닝이 진행됨에 따라 유의미하게 감소하였으며( $p < .05$ ), 중학생 그룹에서 감소폭이 더 크게 나타났다. 어깨세모근에서는 중학생과 고등학생 그룹 모두 유의미한 감소를 보였으며( $p < .05$ ), 중학생 그룹이 고등학생 그룹에 비해 더 큰 변화를 나타냈다.

넓은등근에서는 중학생 그룹과 고등학생 그룹 모두 이닝이 진행됨에 따라 유의미한 감소를 보였으나( $p < .01$ ), 중학생 그룹에서의 변화가 더 크게 나타났다. 등세모근, 위팔세갈래근, 위팔두갈래근, 큰가슴근에서는 이닝 별로 근전도 값의 감소 경향이 있었으나, 통계적으로 유의미한 차이는 확인되지 않았다.

### 6. 팔로 스루(Follow through) 구간

이닝에 따른 팔로 스루 구간의 근전도 변화는 <Table 8>에 제시하였다. Two-way mixed design ANOVA 결과, 넓은등근에서 집단(Group), 이닝(Time), 집단 × 이닝 상호작용(Group × Time) 효과가 유의미한 것으로 나타났다( $p < .001$ ). 사후 분석 결과, 넓은등근은 중학생과 고등학생 그룹 모두 이닝이 진행됨에 따라 유의미하게 감소하였으며( $p < .05$ ), 중학생 그룹에서의 감소폭이 더 크게 나타났다. 등세모근, 위팔세갈래근, 위

**Table 8.** The muscle activation of follow through phase between group and inning (%MVIC)

Muscle	Group	1 inning	4 inning	6 inning	F value			
					One-way ANOVA	Group	Inning	Group × Inning
TP	MS	14.11±8.66	17.61±9.69	16.22±8.88	1.995	4.992	3.333	1.117
	HS	19.81±9.88	17.98±11.92	17.31±10.44	2.114			
TC	MS	4.99±2.14	5.22±3.92	5.55±2.99	1.004	2.119	3.605	6.412
	HS	3.99±3.19	5.12±2.69	4.71±2.94	2.992			
BC	MS	7.23±3.93	7.11±4.01	6.99±3.92	4.691	3.110	3.884	3.998
	HS	6.21±4.04	7.55±4.07	6.99±3.23	2.289			
PM	MS	5.18±3.63	5.91±4.24	5.88±4.07	2.998	7.008	4.119	4.721
	HS	6.99±3.11	6.19±4.82	7.01±4.08	2.223			
FR	MS	13.18±5.93	14.19±8.08	14.99±6.11	5.094	1.688	2.227	4.002
	HS	14.17±6.19	13.98±5.56	13.08±5.98	2.004			
ER	MS	16.99±9.19	17.05±10.08	18.29±9.81	2.772	3.481	4.901	2.778
	HS	16.91±11.26	18.22±11.11	18.23±15.18	3.904			
DT	MS	6.99±2.98	7.11±4.67	6.98±4.72	2.114	4.116	2.001	5.902
	HS	7.11±5.50	8.14±4.11	7.41±3.29	3.288			
LD	MS	13.11±8.01	10.31±6.09	6.22±1.91	3.361*	4.991**	3.095**	5.999***
	HS	15.88±8.41	12.90±7.77	7.05±4.55	4.114**			

Value = M ± SD, \*:  $p < .05$ , \*\*:  $p < .01$ , \*\*\*:  $p < .001$

TP: Trapezius, TC: Triceps, BC: Biceps, PM: Pectoralis major, FR: Flexor radialis, ER: Extensor radialis, DT: Deltoid, LD: Latissimus dorsi, MS: Middle School Student, HS: High School Student

팔두갈래근, 큰가슴근, 노쪽손목굽힘근, 노쪽손목펴근, 어깨 세모근에서는 이닝 별로 근전도 값의 감소 경향이 있었으나, 통계적으로 유의미한 차이는 확인되지 않았다.

## DISCUSSION

본 연구는 청소년 야구 투수들의 투구 동작 중 상지 및 어깨 근육 활성화 패턴을 연령별로 비교하여, 연령과 숙련도에 따른 근육 활성화 효율성을 분석하는 데 목적이 있다. 연구 결과, 주요 상지 근육(등세모근, 넓은등근 등)의 활성화는 연령과 숙련도에 따라 차이를 보였으며, 중학교 그룹이 고등학교 그룹보다 과도한 근육 활성화를 나타내는 경향이 확인되었다. 이는 연령 증가와 함께 숙련도가 향상되는 것으로 해석할 수 있으며 근육 사용의 효율성이 개선될 가능성을 시사할 수 있을 것으로 판단된다. 구간에 따른 결과해석은 다음과 같다.

### 1. 와인드 업(Wind-up) 구간

이닝에 따른 와인드 업 구간에서 등세모근과 넓은등근의 활성화에 유의미한 차이가 나타났다. 등세모근의 경우, 중학생과 고등학생 그룹 모두 이닝이 진행됨에 따라 유의미한 감소를 보였다( $p < .05$ ). 이는 등세모근이 투구 초기 단계에서 어깨 안정화와 상지 움직임에 중요한 역할을 한다는 점을 나타내며, Kibler와 Sciascia (2010)의 연구와 일치한다. 특히, Escamilla, Fleisig, Barrentine, Zheng과 Andrews (2007)은 투구 경험과 연령 증가에 따라 상지 근육 활성화 패턴이 변한다고 보고하였으며, 본 연구에서도 이닝과 연령에 따라 등세모근 활성화가 감소하는 경향을 확인하였다. 넓은등근에서는 중학생 그룹만 이닝 간 유의미한 감소를 보였으며( $p < .05$ ), 고등학생 그룹에서는 유의미한 차이가 없었다. 이는 중학생 그룹이 숙련도 부족으로 인해 투구 동작에서 넓은등근을 과도하게 사용하는 반면, 고등학생 그룹은 이 근육 사용의 효율성이 높아졌음을

시사한다. Werner, Fleisig, Dillman과 Andrews (2002)의 연구에서도 숙련도가 낮은 투수는 넓은등근의 과도한 사용으로 인해 어깨 안정화가 비효율적일 수 있음을 지적하였으며, 이것은 본 연구 결과와 일치한 것으로 나타났다.

## 2. 스트라이드(Stride) 구간

스트라이드 구간에서는 등세모근과 어깨세모근의 활성화에서 유의미한 차이가 확인되었다. 등세모근은 중학생과 고등학생 모두에서 이닝에 따라 유의미한 활성화 변화를 보였으며, 이는 투구 동작의 중간 단계에서도 어깨뼈의 안정화가 지속적으로 중요함을 시사한다(Fleisig, Barrentine, Zheng, Escamilla & Andrews, 1996). 어깨세모근의 경우, 중학생 그룹에서만 유의미한 활성화 증가가 관찰되었으며( $p < .05$ ), 이는 숙련도 부족으로 인해 어깨 근육에 과도한 부담이 가해진 결과로 판단된다. Escamilla 등 (2007)은 연령 증가와 숙련도 향상에 따라 투구 동작의 전신 협응(coordination)이 개선됨을 보고하였으며, 본 연구 결과와 일치하는 맥락을 보여주었다.

## 3. 암 코킹(Arm cocking) 구간

암 코킹 구간에서는 위팔세갈래근, 위팔두갈래근, 노쪽손목굽힘근 및 노쪽손목펴기근에서 유의미한 활성화 차이가 확인되었다. 위팔세갈래근의 경우, 중학생 그룹에서만 유의미한 활성화 증가가 나타났으며( $p < .05$ ), 이는 투구 시 팔꿈치 신전 근육에 과도한 부담이 가해졌을 가능성을 시사한다. Fleisig 등 (1996)의 연구에서도 위팔세갈래근이 팔꿈치 안정화와 높은 힘에 대응하는 데 중요한 역할을 한다고 보고되었다. 위팔두갈래근에서는 두 그룹 모두 이닝에 따라 유의미한 변화를 보였으며, 이는 이 근육이 팔꿈치와 어깨 관절의 안정성 유지에 중요한 역할을 한다는 점을 나타낸다(Escamilla et al., 2007). 또한, 노쪽손목굽힘근과 노쪽손목펴기근의 활성화는 투구 동작 중 손목 안정화와 공 회전 제어에 중요한 기여를 하는 것으로 나타났다(Kibler & McMullen, 2003).

## 4. 암 가속(Arm acceleration) 구간

암 가속 구간에서는 큰가슴근, 어깨세모근, 노쪽손목굽힘근 및 노쪽손목펴기근의 활성화가 유의미하게 나타났다. 큰가슴근은 두 그룹 모두에서 유의미한 차이를 보였으며( $p < .05$ ), 이는 팔의 가속과 공의 속도 생성에 이 근육이 중요한 역할을 한다는 점을 나타낸다(Fleisig et al., 1996). 어깨세모근 역시 두 그룹 모두에서 유의미한 활성화를 보였으며, 이는 공의 정확성과 속도 향상에 기여함을 시사한다(Escamilla et al., 2007). 노쪽손목굽힘근과 노쪽손목펴기근은 손목 안정성과 공

회전에 지속적으로 중요한 역할을 하였으며, 암 코킹 구간과 유사한 활성화 경향을 보였다.

## 5. 암 감속(Arm deceleration) 및 팔로 스로우(Follow through) 구간

암 감속 구간에서는 넓은등근, 어깨세모근, 노쪽손목굽힘근 및 노쪽손목펴기근이 유의미한 활성화 차이를 보였다. 넓은등근은 투구 후 상지의 움직임을 조절하고 안정화를 제공하는 역할을 하며(Werner et al., 2002), 어깨세모근은 갑작스러운 움직임 제어에 기여하였다(Escamilla et al., 2007). 팔로 스로우 구간에서는 넓은등근이 두 그룹 모두에서 유의미한 차이를 보였으며, 이는 투구 종료 시 어깨 안정화와 힘 조절에서 중요한 역할을 하는 근육임을 시사한다(Fleisig et al., 1996).

본 연구는 연령별 근육 활성화 패턴을 정량적으로 비교 분석하여, 숙련도와 연령이 상지 근육의 효율성에 미치는 영향을 규명하였다는 점에서 의의가 있다. 특히, 중학생 그룹에서의 근육 과사용 경향은 적절한 기술 훈련과 효율적인 근육 사용 패턴의 중요성을 강조한다. 그러나 본 연구는 제한된 표본 크기와 중학생 및 고등학생만을 비교 대상으로 삼았기 때문에, 연구 결과를 일반화하는 데 한계가 있다. 또한, 투구 동작 외의 구질(직구, 변화구 등)에 따른 근육 활성화 차이를 고려하지 못하였다. 또한 본 연구는 표본의 연령 및 숙련도를 두 집단으로 제한하였으며, 표본 크기가 작아 일반화 가능성이 제한적이다. 향후 연구에서는 더 다양한 연령대(초등학교, 대학교)와 숙련도 그룹을 포함하여 보다 포괄적인 분석이 이루어질 필요가 있다. 또한, 투구 동작의 구질, 속도, 피로 누적에 따른 근육 활성화 변화를 비교하는 연구가 이루어진다면 청소년 야구 투수들의 부상 예방 및 효율적인 훈련 설계에 더 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

## CONCLUSION

본 연구는 청소년 야구 투수들의 투구 동작 중 상지 및 어깨 근육 활성화 패턴을 분석하여 연령과 숙련도에 따른 차이를 규명하고, 근육 사용 효율성에 미치는 영향을 평가하였다. 연구 결과, 고등학교 투수들은 중학교 투수들에 비해 주요 상지 근육의 효율적인 활성화 패턴을 보였으며, 이는 연령과 숙련도 증가에 따른 동작 안정성과 효율성 향상의 가능성을 시사한다. 반면, 중학생 투수들은 특정 근육의 과도한 사용 경향을 나타내어 숙련도 부족이 근육 과부하와 관련될 수 있음을 보여주었다. 특히, 투구 동작 구간별 분석 결과, 중학생 그룹은 넓은등근, 위팔세갈래근 등에서 비효율적이고 과도한 근육 사용이 관찰된 반면, 고등학생 그룹은 상대적으로 안정

적이고 균형 잡힌 근육 활성화 패턴을 보였다. 이러한 차이는 연령과 숙련도가 투구 동작의 안정성과 효율성에 중요한 역할을 한다는 점을 확인시켜준다. 그러나 고등학교 투수들의 근육 사용 패턴이 반드시 이상적이라고 단정하기는 어려우며, 더 우수한 그룹(예: 프로선수)과의 비교가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구는 유소년 야구 투수들의 연령별 근육 활성화 패턴을 정량적으로 분석함으로써, 부상 예방과 효율적인 훈련 설계를 위한 기초 자료를 제공하였다. 하지만, 표본이 중학생과 고등학생으로 제한되었고, 투구 구질, 속도, 피로 누적 등 다양한 요인을 포함하지 못한 한계가 있다. 향후 연구에서는 이러한 요소를 보완하고, 다양한 연령대와 숙련도 그룹을 포함하여 보다 포괄적이고 심층적인 분석이 이루어질 필요가 있다. 이를 통해 유소년 야구 투수들의 부상 예방과 경기력 향상을 위한 구체적이고 실질적인 지침을 제공할 수 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the research grant of the Busan University of Foreign Studies in 2024.

## REFERENCES

- Aso, T. & Kagaya, Y. (2023). Effects of repetitive pitching on trunk muscle endurance and thoracic and shoulder kinematics. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 18(2), 388-396.
- Camp, C. L., Dines, J. S., van der List, J. P., Conte, S., Conway, J., Altchek, D. W. & Werner, B. C. (2018). Summative report on upper extremity injuries in professional baseball: A 10-year retrospective review. *American Journal of Orthopedics*, 47(10), 1-5.
- Conte, S., Camp, C. L. & Dines, J. S. (2016). Summative report on upper extremity injuries in professional baseball: A 10-year retrospective review. *American Journal of Orthopedics*, 47(10), 1-5.
- Dillman, C. J., Fleisig, G. S. & Andrews, J. R. (1993). Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 18(2), 402-408.
- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N. & Andrews, J. R. (2007). Kinematic comparisons of throwing different types of baseball pitches. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(3), 216-228.
- Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F. & Andrews, J. R. (1996). Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *American Journal of Sports Medicine*, 24(6), 665-673.
- Gerald, H. L. & Gans, C. (1986). Electromyography for experimentalists. *American Journal of Physiology*, 251(2), R331-R335.
- Hermens, H. J., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., Disselhorst-Klug, C. & Hägg, G. (2000). *European recommendations for surface electromyography: Results of the SENIAM project*. Roessingh Research and Development.
- Hootman, J. M., Dick, R. & Agel, J. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 311-319.
- Jobe, F. W., Moynes, D. R., Tibone, J. E. & Perry, J. (1984). An EMG analysis of the shoulder in pitching: A second report. *The American Journal of Sports Medicine*, 12(3), 218-220.
- Kibler, W. B. & McMullen, J. (2003). Scapular dyskinesis and its relation to shoulder injury. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 11(2), 142-151.
- Kibler, W. B. & Sciascia, A. (2010). Current concepts: Scapular dyskinesis. *British Journal of Sports Medicine*, 44(5), 300-305.
- Kusafuka, A., Kobayashi, H., Miki, T., Kuwata, M., Kudo, K., Nakazawa, K. & Wakao, S. (2020). Influence of release parameters on pitch location in skilled baseball pitching. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2(36). doi.org/10.3389/fspor.2020.00036
- Lyman, S., Fleisig, G. S., Waterbor, J. W., Funkhouser, E. M., Pulley, L., Andrews, J. R. & Roseman, J. M. (2001). Longitudinal study of elbow and shoulder pain in youth baseball pitchers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(11), 1803-1810.
- Oliver, G. D., Weimar, W. H. & Henning, L. E. (2016). Lower extremity kinematics in youth baseball pitching: The influence of stride length. *Sports Biomechanics*, 15(3), 277-285.
- Park, I. B. (2007). The Change of EMG according to Pitching Number Increase in High School Baseball Pitcher. *Journal of Korea Sports Medicine*, 25(2), 215-222.
- Petty, D. H., Andrews, J. R., Fleisig, G. S. & Cain, E. L. (2004). Ulnar collateral ligament reconstruction in high school baseball players: Clinical results and injury risk factors.

- American Journal of Sports Medicine*, 32(5), 1158-1164.
- Senff, O., Pieterse, J. & Stegeman, D. (2016). Validation of MVC protocols for EMG signal standardization. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 26(1), 10-18.
- Valovich McLeod, T. C., Decoster, L. C., Loud, K. J., Micheli, L. J., Parker, J. T., Sandrey, M. A. & White, C. (2011). National athletic trainers' association position statement: Prevention of pediatric overuse injuries. *Journal of Athletic Training*, 46(2), 206-220.
- Werner, S. L., Fleisig, G. S., Dillman, C. J. & Andrews, J. R. (2002). Biomechanics of the elbow during baseball pitching. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 32(2), 99-107.