

# 사이클 페달 회전수에 영향을 미치는 자세 요인

하종규\* · 장영관\*\* · 기재석\*\*\* · 김상수\*\*\*\*

\*아주대학교 공학연구소 · \*\*강원대학교 산업경영공학과

\*\*\*인천대학교 산학협력중심대학육성사업단 · \*\*\*\*부산지방공단스포윈

## Cyclists' Posture Factors Affecting Pedaling Rate in Cycle

Chong-Ku Hah\* · Young-Kwan Jang\*\* · Jae-Sug Ki\*\*\* · Sang-Soo Kim\*\*\*\*

\*Engineering Institute of Ajou University

\*\*Industrial & Management Engineering Department of Kangwon National University

\*\*\*Incheon University · \*\*\*\*Busan Spol Corporation

### Abstract

Despite the importance of cycling postures during cycling performances, there has been a very little research investigating cycling postures and pedaling rate for particularly concerning domestic cyclists. The aim of this study was to analyze correlations and effects between cycling postures and pedaling rate in track cycling. Twelve male racing cyclists (six racing and university cyclists) participated in this research. For this study, seven infrared cameras (Qualisys ProReflex MCU-240s) were used for collecting data and these were processed via QTM (Qualisys Tracker Manager) software. It appeared that pedaling rate had correlations with regard to a shoulder angle ( $R=-.601$ ) and displacement between shoulder joints ( $R=-.637$ ), but a knee ( $R=-.601$ ) and ankle angle ( $R=.667$ ). Moreover, two multiple regression equations of pedaling rate for cycling postures were significant and  $R^2$  of the first order equation  $y$  (pedaling rate) =  $0.039x$  (knee angle) - 1.068 was less than the second order equation  $y = 0.006x^2 - 1.287x + 69.674$ . In conclusion, cycling postures affected the pedaling rate. Further study should be researched on postures in relation to air resistance in a wind tunnel.

**Keywords** : Cycling Pedaling, Cycling Posture, Multiple Regression, Supra-maximal Exercise, Pedaling Rate.

### 1. 서론

사이클은 인간-기계 시스템이 환경 시스템과 함께 효율적인 조화를 통하여 이루어지는 경기이다. 인간 내부의 화학적 에너지를 기계적 에너지로 변환시키는 과정인 페달링은 사이클링 요인 중에서도 가장 중요한 요인이라 할 수 있다[1]. 사이클 선수의 운동능력 평가를 위해서는 변화하는 환경에서 인간과 사이클 즉, 인간-기계 시스템의 효율성 평가가 중요하다고 할 수 있다.

최적 사이클링은 선수의 신체적인 조건, 사이클의 조정, 주행 및 경기전략 등을 포함하는 통합적인 요인이

관련되어 있다. 이러한 요인 중에서 사이클링의 주행 자세는 공기저항의 최소화와 페달링의 최대화를 통하여 경기력을 극대화하는 주된 요인이다.

이순호[2]는 최적의 사이클링을 위하여 사이클 안장 높이에 따라 변화하는 하지의 정렬과 페달링에 미치는 영향을 역학적 에너지변화로 보고하였으며, 류창업 등[3]은 페달을 밟는 발의 위치에 변화를 주어 토크를 변화시키는 슬관절각에 따른 하지 동작을 분석하였다. 그리고 하지분절의 속도변화에 따른 근육발현과 활성화 정도를 연구한 연구로는 옥성수 등[4]의 연구가 있다.

† 교신저자: 장영관, 강원도 삼척시 중앙로 1 강원대학교 산업경영공학과

M · P: 010-3470-6585, E-mail: ykjang@kangwon.ac.kr

2010년 10월 14일 접수; 2010년 12월 15일 수정본 접수; 2010년 12월 16일 게재확정

페달에 작용되는 힘의 패턴과 하지 관절의 회전 효과를 나타내는 근 모멘트 및 주동근의 근전도 분석을 하여 페달링 패턴을 파악하였으며[5] 페달에 작용하는 직접적인 힘을 스트레인지지를 이용하여 분석하였다[6]. 그리고 근파위는 페달스피드와 페달링율에 관계가 없으며 크랭크 길이는 최대사이클링 파워에 유의하게 영향을 미친다고 하였다[7]. Redfield 등[8]은 페달링 속도 변화에 따른 페달에 작용되는 힘을 연구하였다.

전술한 선행연구 대부분은 안장높이의 최적성, 페달에 발휘되는 힘의 강도, 족관절의 각, 그리고 힘이 발휘되는 방향에 관한 연구가 주류를 이루었다.

사이클 주행은 주행 자세와 페달링이 주요 요인임에도 불구하고 페달링에 편향되어 연구가 이루어져 왔다.

주행 자세는 조정, 공기저항, 형태항력 및 페달링에 영향을 미치며 Kyle(1986)는 “18mph로 주행할 때 공기저항은 전체 저항의 80% 이상이며, 속도 제곱에 비례한다”고 하였다. 이것은 공기저항을 결정하는 주행자세의 중요성을 시사하고 있으며 사이클 선수의 에너지 소모에도 영향을 미친다. 또한, 주행자세는 형태항력에 영향을 미쳐 물체의 선두와 후미지역 간의 압력 차이로 인한 주행의 저항력으로 작용한다. 그러므로 주행자세는 사이클 속도의 주된 요인이라 할 수 있다.

그럼에도 불구하고 국내 선수를 대상으로 한 주행자세가 페달링율(rps)에 미치는 영향에 관한 연구는 미진한 것이 현실이다. 그러므로 본 연구에서는 국내 단거리 선수들을 대상으로 25초간의 지속적 초최대운동 시 경륜선수(30대)와 대학선수(20대)의 페달링율에 영향을 미치는 자세를 평가하고자 한다. 이러한 연구의 목적을 수행하기 위하여 시상면상의 각변위(견관절각, 주관절각, 고관절각, 슬관절각, 족관절각)와 전두면상의 관절간 선변위(견관절간, 주관절간, 슬관절간)를 산출하고 주행 자세 변인과 페달 회전속력과의 관계와 페달 회전속력에 영향을 미치는 주행자세 변인을 규명하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구대상

단거리 경기를 주 종목으로 하는 경륜 선수 6명 (나이: 30대)명과 K대학교 사이클 선수 6명 (나이: 20대), 총 12명을 대상으로 선정 하였으며 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

<표 1> 대상자의 특성

특성 구분	연령 (yrs.)	신장 (cm)	체질량 (kg)	경력 (yrs)	체지방율 (%)
평균	25.50	173.42	77.55	8.75	15.18
표준편차	5.87	7.13	7.74	5.24	2.85

### 2.2 연구의 제한점

이 연구의 제한점은 다음과 같다.

- 1) 실험 시 발생할 수 있는 생리적·심리적 요인 등의 조건들은 고려하지 않았다.
- 2) 인체는 각 관절이 핀 관절(pin joint)로 연결된 강체(rigid body)로 간주하였다.
- 3) 실험은 부하 조절 기능이 없는 평 롤러 위에서 실행하였다.
- 4) 대상자는 단거리 트랙선수로 제한하였다.

### 2.3 실험 설계

대한 사이클 연맹 관계자의 협조로 연구 대상자를 선정하였으며, 대상자에게 실험 목적과 일련의 실험 과정에 대한 주의사항을 숙지시키고 동의를 구하였다.

#### 2.3.1 좌표화를 위한 마커 부착지점

신체의 위치좌표의 기준이 되는 전역좌표는 Qualisys system의 L자 프레임이고 윈드 바(wand-bar)로 동작 범위를 포함할 수 있는 공간을 설정하였으며 대상자의 움직임의 좌표화를 위하여 전두면(전·후면)과 시상면(좌·우면)에 <그림 1>과 같이 마커를 부착하였다.

#### 2.3.2 분석 국면 및 변인 정의

##### 1) 분석 국면

사이클링은 반복적 운동이므로 25초 동안의 사이클링 시 스타트 페달 1회전부터 5초 간격으로 각 1회의 페달링을 6회전을 분석 국면으로 선정하였으며 <그림 2>는 실험장면을 나타낸다.

##### 2) 분석 변인 정의

이 연구의 분석변인은 시상면과 전두면에서의 관절 각을 나타내며 다음과 같다.

##### (1) 시상면(좌우면)

견관절각: 주관절-견봉-대전자가 이루는 상대각

주관절각: 수근관절-주관절-견봉이 이루는 상대각

고관절각: 견봉-대전자-슬관절이 이루는 상대각

족관절각: 슬관절-외측과 5번 중족지골이 이루는 상대각



<그림 1> 마커표식점



<그림 2> 실험장면

(2) 전두면(전후면)

견관절간 변위: 어깨 너비를 나타내며 좌·우측 견봉을 연결한 변위

주관절간 변위: 팔꿈치 너비를 나타내며 좌·우측 주관절을 연결한 변위

슬관절간 변위: 무릎 너비를 나타내며 좌·우측 슬관절을 연결한 변위

2.3.3 실험절차 및 방법

단거리 사이클 선수들의 25초간 최대운동 시 주행 자세를 측정하기 위해서 부하 조절기능이 없는 평 롤러를 설치한 다음 롤러의 전·후 측면에 각각 2대, 그리고 좌·우측면에 각2대, 총 7대의 카메라(ProReflex MCU -240)를 설치한 후 대상자에게 동작규약을 충분히 주지시킨 후 사이클용 반바지를 입고, 각 관절점에 반사 마커를 부착하였다. 롤러 위에서 자신의 도로용 사이클로 5분간 준비운동 후 주행 스타트로부터 5초 간격으로 데이터를 획득하였다.

2차원 좌표는 7대의 카메라를 통해 샘플링을 200Hz로 획득하고 QTM(Qualysis Track Manager)을 이용하여 원자료를(위치좌표)와 운동학적 변인을 획득하였다.

2.3.4 통계 처리

운동학적 변인의 기술통계와 상관관계 및 다중회귀 분석을 SPSS 12.0을 이용하여 처리하였다.

3. 연구 결과 및 논의

3.1.1 운동학적 변인의 기술통계량

주행 시 상체의 움직임의 산포를 나타내는 변이계수(coefficient of variation)는 <표 2>에서와 같이 주관절각>고관절각>족관절각>견관절각>슬관절각 순으로 나타난 것은 어깨의 움직임을 낮게 하는 주관절 변동과 몸통을 지면과 수평되게 하는 고관절 변동이 주된 요인임을 나타낸다. 그리고 <표 3>에서 보이는 바와 같이 관절간 변위는 견간변위>주관변위>슬관변위 순으로 나타나 이 역시 상체의 변동이 크게 일어나고 있음을 반영하는 것이다. 이는 공기저항을 가장 많이 받을 수 있는 자세 변인은 상체의 상하 움직임(주관절각 변이계수)과 좌우 움직임(견간변위 변이계수)임을 시사하는 것이다.

한편, 사이클링 시간이 경과함에 따라 선수들은 신체의 한계점에 도달하게 되어 주행자세가 크게 변화하게 되는데 특히 상체의 움직임을 좌우하는 주관절각과 견간 변위임을 알 수 있다.

이것은 페달링 뿐만 아니라 주행자세가 경기력에 영향을 미칠 수 있다는 개연성을 나타내고 있다.

<표 2> 관절 각변위

단위: 도

구분	견관절각	주관절각	고관절각	슬관절각	족관절각
평균	71.5	118.92	58.24	107.13	122.6
표준편차	3.14	11.46	4.16	3.02	7.02
변이계수(%)	4.39	9.64	7.14	2.82	5.73

<표 3> 관절간 변위

단위: mm

구분	슬관 변위	견관 변위	주간 변위	회전 속도(rps)
평균	403.2	343.4	531.94	3.09
표준 편차	10.74	34.76	25.6	0.15
변이 계수(%)	2.66	10.12	4.81	4.85

3.1.2 회전속력과 자세의 상관

사이클의 속도를 결정하는 페달링 회전속력과 주행 자세 관련 운동학적 변인간의 상관관계를 분석한 결과

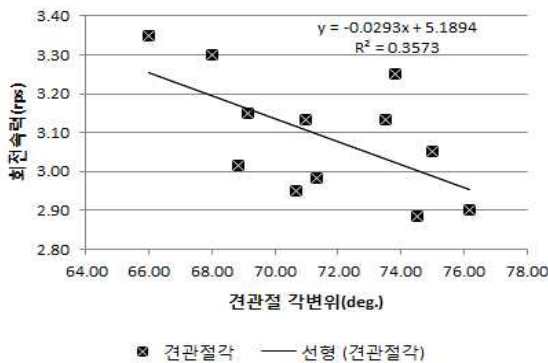
견관절각의 상관계수는  $r=-.601$ 과 견간변위  $r=-.637$ 으로 유의한 부적상관을 나타내며<표 4> 각각 결정계수는  $R^2=0.36$ 과  $R^2=0.40$ 으로 나타났다<그림 3, 4>. 그리고 슬관절각과 족관절각의 상관계수는 각각  $r=.758$ 과  $r=.667$ 으로 유의한 정적상관을 보였으며<표 3>, 결정계수는  $R^2=0.58$ 과  $R^2=0.45$ 으로 나타났다<그림 5, 6>.

이는 견관절각과 견간변위는 작을수록 슬관절각과 족관절각은 클수록 페달링 회전속력이 커짐을 나타내며 상체자세와 하지분절의 자세는 상호 관련성이 있음을 반영한 것이다. 그리고 결정계수( $R^2$ )의 크기는 슬관절각>족관절각>견간변위>견관절 각변위 순으로 나타나 슬관절각의 상관 설명력이 가장 크게 나타났다.

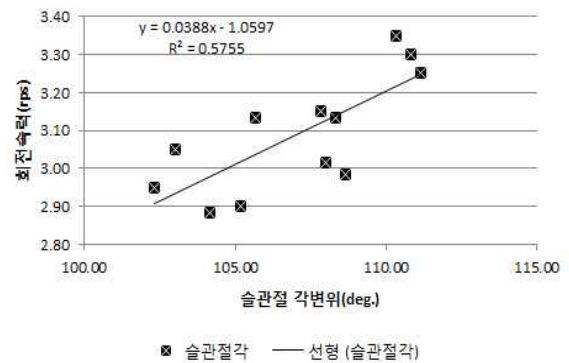
<표 4> 운동학적변인의 상관관계

구분		견관절각	주간절각	고관절각	슬관절각	족관절각	슬관 변위	견관 변위	주간 변위
페달 회전속력	피어슨상관계수	-0.601*	-0.462	-0.326	0.758**	.667*	0.278	-.637*	0.515
	유의확률 (양쪽)	0.039	0.131	0.301	0.004	0.018	0.382	0.026	0.086

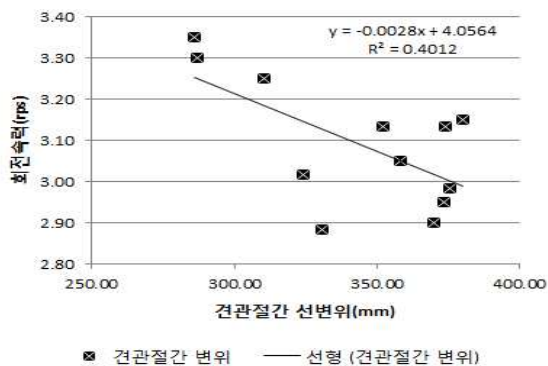
\*. 상관계수는 .05 수준(양쪽)에서 유의 합니다  
 \*\*. 상관계수는 .01 수준(양쪽)에서 유의 합니다



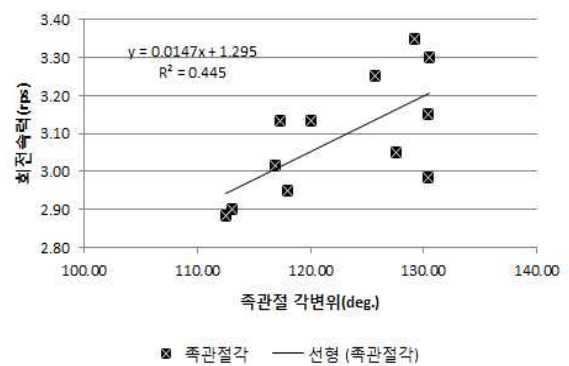
<그림 3> 견관절각과 페달링을



<그림 5> 슬관절각과 페달링을



<그림 4> 견간변위과 페달링을



<그림 6> 족관절각과 페달링을

3.1.3 운동학적 변인의 회귀분석 및 패턴분석

페달 회전속력(중속변수)과 관계있는 견관절각, 견간 변위, 슬관절각과 족관절(독립변수)을 단계선택 방법으로 다중회귀분석한 결과는 다음과 같다. 일차 회귀모형의 더빈 왓슨 통계량이 2.121인 것으로 보아 자기상관은 없으며 결정계수(R2)는 약 58%로 나타났다<표 5>. 그리고 이 모형은 F=13.533, p=.004로 유의하게 나타났으며<표 6> 독립변수 중 슬관절각을 제외하고는 모두 제거되어<표 8> 회귀식은  $y(\text{페달 회전속력}) = 0.039x(\text{슬관절각}) - 1.068$  로 나타났다<표 7>. 이는 슬관절각만으로 페달의 회전속력(rps)을 예측하는 식이다.

슬관절각은 페달의 회전속력에 영향을 미치며 1차 회귀식은 결정계수  $R^2 = 0.575$ 로 나타나 약 58%의 설명력을 가진다. 그리고 2차 회귀식  $y(\text{회전속력}) = 0.006x^2 - 1.287x + 69.674$ 은  $p=.007$ 로 유의하며<표 9>,  $R^2 = 0.666$ 로 나타나 약 67%의 설명력으로 1차 회귀식보다 크게 나타났다<그림 7>. 이는 슬관절각의 증가에 따라 페달링 회전속력이 선형으로 증가하기 보다는 완만한 곡선으로 증가함을 반영한 것이다<그림 8>.

<표 5> 일차회귀 모형

모형 요약				
R	R 제곱	수정 R 제곱	추정값의 표준오차	더빈 왓슨
0.758	0.575	0.533	0.106	2.121

<표 6> 일차회귀 분산분석

분산분석					
	제곱합	자유도	평균 제곱	F	유의 확률
회귀 모형	0.151	1	0.151	13.533	0.004*
잔차	0.112	10	0.011		
합계	0.262	11			

\*. 상관계수는 .05 수준

<표 7> 일차회귀 계수

계수						
	비표준	표준 오차	표준화	베타	t	유의 확률
(상수)	-1.060	1.13			-0.945	0.367
슬관절각	0.039	0.01		0.758	3.679	0.004*

\*. 상관계수는 .05 수준

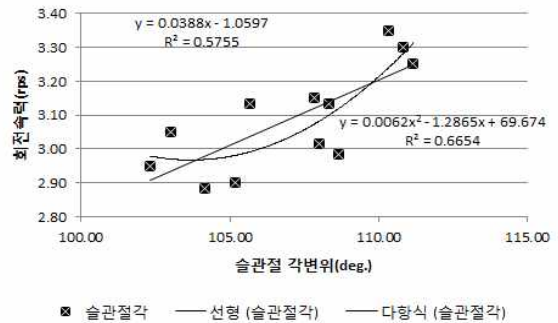
<표 8> 제외된 변수 통계량

구분	제외된 변수(b)				공선성
	베타 입력	t	유의 확률	편상관 계수	공차
견관절각	-.263a	-1.075	0.31	-0.337	0.697
주관절각	.058a	0.202	0.844	0.067	0.574
고관절각	-.115a	-0.516	0.618	-0.17	0.916
족관절각	0.370a	1.649	0.134	0.482	0.721
슬관절각	0.352a	1.911	0.088	0.537	0.991
견간 변위	-0.301a	-1.225	0.252	-0.378	0.672

a. 모형내의 예측값: (상수), 슬관절각  
b. 중속변수: 회전속력

<표 9> 2차 모형

2차 모형 요약 및 모수 추정값					
	모형 요약	모수 추정값			
R 제곱	거짓 유의 확률	상수항	b1	b2	
0.666	8.987	0.007	69.674	-1.287	0.006



<그림 7> 슬관절각과 페달링을

4. 결론 및 제언

페달링 회전속력에 영향을 미치는 주행자세 변인을 분석한 결과 견관절각과 견간변위는 부적상관으로 슬관절각과 족관절각은 정적상관으로 유의하게 나타났다.

특히, 슬관절각이 페달링 회전속력에 유의한 영향을 미쳤으며 1차 회귀식,  $y(\text{페달 회전속력}) = 0.039x(\text{슬관절각}) - 1.068$ 과 2차회귀식,  $y(\text{회전속력}) = 0.006x^2 - 1.287x + 69.674$ 으로 나타났다.



결론적으로 사이클 주행자세는 페달링과 상관성이 있으며 하체자세 뿐만 아니라 상체자세와도 상관성이 있고 특히, 슬관절각은 페달속력에 곡선적으로 영향을 미친다.

그러므로 기존의 바람직한 사이클 주행자세는 “어깨 폭을 최대한 줄이고 어깨를 낮추어 상체를 최대한 노면과 수평이 되도록 유지하여 전면적(Front area)이 최소화 되도록 하고 슬관절각과 족관절각을 크게 하여 페달링하는 것이다” 라는 이론을 일부 자세측면에서 정량적으로 검증하였다.

향후 국내의 단거리·중장거리 선수를 대상으로 풍향 실험 조건에서의 주행자세와 공기저항과의 관계를 연구하는 것이 절실히 필요하다.

5. 참고 문헌

[1] 이용우(2005). 사이클링 초최대운동 시 RPM과 족관절의 운동학적 분석. 한국 운동역학회지, 15(4), 75-83.

[2] 이순호 (1997). 사이클의 안장높이에 따른 하지 분절의 역학적 에너지 변화. 박사학위논문. 성균관대학교 대학원.

[3] 류창엽, 최성진, 박종진, 강순용 (2001). 사이클링 선수의 슬관절각에 따른 하지동작의 운동학적 분석. 한국운동역학회지, 11(2), 259-279.

[4] 옥성수, 김태영, 유경석. “사이클링시 하지분절의 속도변화에 따른 운동학적 및 근전도 분석”, 한국사회체육학회지, 18(2002) :1231-1243.

[5] Gregor, R. J., Cavanagh, P. R., and LaFortune, M. (1985). Knee flexor moments during propulsion in cycling- A creative solution to Lombard’s Paradox. Journal of Biomechanics. (Elmsford,- N.Y):18(5), pp. 307-316 Refs:28.

[6] Jorge, M., and Hull, M. L. (1984). Biomechanics of Bicycle pedalling. In, Terauds, J.(ed) et al., Sports Biomechanics. Proceedings of ISBS, Der Mar, Calif., Reserch Center for Sports, c, pp. 223-246. Refs:20

[7] Martin JC, Spirduso WW. (2001). Determinants of maximal cycling power: crank length, pedaling rate and pedal speed. Eur J Appl Physiol. 84(5):413-8.

[8] Redfield, R., and Hull, M. L. (1986). On the relation between joint moments and pedalling rates at constant power in cycling. Journal of Biomechanics. 19, 845-854.

저 자 소 개

하 종 규



한양대학교 산업공학과(공학사), 한양대학교 산업공학과(공학석사), 한국체육대학교 체육학과(이학박사), 현재 서울여자대학교 자연과학연구소 연구교수.

관심분야로는 스포츠 공학, 운동역학, 경기력 향상 등이 있음.

주소 : 서울시 송파구 오금동 상아 아파트 8동 1210호

장 영 관



한양대에서 학사, 석사 및 박사 학위를 취득하였으며, 주요 관심분야는 물류정보시스템, MIS, 인간공학 등이다. 현재 강원대학교 산업경영공학과 부교수로 재직 중이다.

주소: 강원도 삼척시 중앙로1 강원대학교 산업경영공학과

기 재 석



한양대학교 산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하고 현재 인천대학교 정보통신대학원 교수로 재직 중임. 관심분야는 Modeling & Simulation 으로 특히 가상현실을 이용하여 산업에서 필요로 하는 훈련 및 교육용 장비 개발에 있음.

주소: 인천시 남구 도화동 인천대학교 공학관 409호

김 상 수



군산대학교 체육학과(체육학사), 군산대학교 생활체육학과(체육석사), 2009년 10월부터 현재까지 부산지방공단스포윈 본부장으로 재직중이며 관심분야는 운동역학, 경기력 향상 등이다.

주소: 부산광역시 체육공원로 399번길 324