

# 관성센서 기반 TUG평가를 통한 고령자의 연령 추정 방법

고정배\*, \*\*, 김종현\*, 홍재수\*  
 \*한국생산기술연구원 지능형생산시스템연구부  
 \*\*한국기술교육대학교 디자인공학과  
 e-mail: jshong94@kitech.re.kr

## Age Estimation Method for The Elderly Using IMU-based TUG Test

Jeong-Bae Ko\*, \*\*, Jong-Hyeon Kim\*, Jae-Soo Hong\*  
 \*Dept. of Intelligent Manufacturing System R&D, Korea Institute of Industrial Technology  
 \*\*Dept. of Industrial Design Engineering, KOREATECH

### 요약

본 연구는 관성센서를 활용하여 주요 동적균형능력 평가 방법인 Timed Up and Go(TUG) 평가를 고령자 대상으로 수행하고, IMU에서 측정된 데이터를 통해 고령자의 연령을 추정하는 방법을 제안하고자 한다. 실험은 60 ~ 80대 고령자 52명을 대상으로 수행하였다. 단계적 회귀분석을 수행하여 연령 추정을 위한 회귀식을 도출하였다. 정확도는 93.5%였으며, 추가 데이터를 활용하여 검증한 결과 평균 정확도 93.0%로 연령을 추정하였다. 본 연구 결과는 향후 고령자의 동적 균형능력 측정 및 분석 프로그램 개발을 위한 기초 연구 자료로써 활용될 수 있다.

### 1. 서론

동적균형능력은 몸이 움직이는 동안 기저면(Base of support)내에서 무게중심을 유지하고 조정하는 능력을 말한다[1]. 동적균형능력은 파킨슨병, 편마비, 노화 등이 진행되면서 점차 저조해지는 경향을 보인다. 저조한 동적균형능력은 낙상이 유발될 가능성을 증가시키고 삶의 질을 저하시킨다 [2]. 최근 초소형 정밀기계 기술(MEMS)이 발달하면서, 소형화된 Inertial Measurement Unit(IMU)의 개발이 활발하게 진행되고 있다. IMU는 3축 가속도계, 3축 각속도계, 지자기계로 구성되어 있으며 움직이는 물체의 가속도, 각속도, 이동 방향 등을 측정 할 수 있는 센서이다. 이러한 IMU를 활용하여 신체의 동작과 보행 등을 측정한 후 분석을 통해 동적균형능력을 평가할 수 있다[3].

본 연구는 IMU를 활용하여 주요 동적균형능력 평가 방법인 Timed Up and Go(TUG) 평가를 고령자 대상으로 수행하고, 가속도, 각속도 신호 분석을 통해 고령자의 연령을 추정하기 위한 방법을 제안하고자 한다.

### 2. 연구 방법

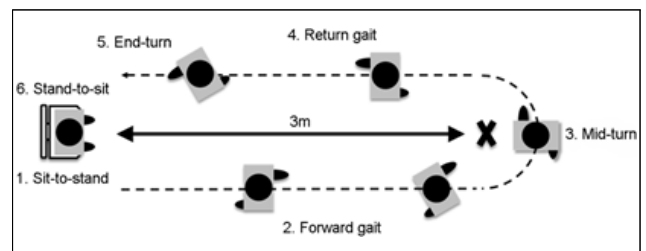
#### 2.1 실험 참여자

본 연구의 실험을 위해 60세 이상 고령자 52(평균 나이: 76

± 6.98 세)명을 모집하여 수행하였다. 실험 참여자는 독립보행이 가능한 자, 최근 1개월간 낙상을 경험하지 않은 자, 독립적인 일상생활이 가능한 자를 기준으로 모집하였다.

#### 2.2 TUG

실험은 1991년 Podsiadlo와 Richardson에 의해 보고된 TUG 평가를 수행하였다[4]. TUG 평가는 동적 균형능력을 평가하기 위해 가장 보편적으로 사용되는 평가 방법이다. TUG 평가는 의자에서 일어나 반환점 까지 3m 전방 보행하고 반환점을 돌아서 의자로 돌아오는 복귀 보행 3m를 수행한 뒤 의자에 착석하는 평가이다[그림 1]. 본 연구에서 TUG 평가는 동작 분석 실험이 가능한 넓고 편평한 실험실에서 수행되었다. 의자는 등받이가 있고 팔걸이는 없는 의자를 사용하였다. 3회 수행되었으며 데이터 분석에 2회차 데이터만 사용되었다.



[그림 1] TUG 평가 개요

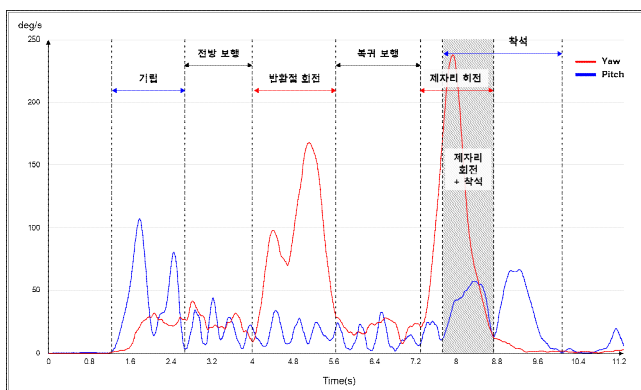
### 2.3 관성센서

관성센서는 Reasurech PRO IMU(Noraxon, USA) 1개를 사용하였다. 본 관성센서는 3축 가속도계와 3축 각속도계 지자기계로 이루어져 있다. 가속도는 3축(전후방, 측방, 수직 방향)으로 ±16G까지 측정 가능하고 최대 샘플링 레이트는 400 Hz이다. 각속도는 yaw, pitch, roll 방향으로 ±2000deg./s까지 측정 가능하고 최대 샘플링 레이트는 400Hz이다. MR3.14(Noraxon, USA) 소프트웨어를 사용하여 데이터를 수집하였다. TUG 평가 시 관성센서는 Second lumbar vertebra(L2) 위치에 벨트를 활용하여 신체에 고정시켰다.

### 2.4 데이터 분석 방법

관성센서의 각속도 데이터를 활용하여 TUG 하위 동작을 구분시켰다. 기립, 착석과 관련된 동작은 pitch 방향 각속도를 확인하여 구분하였고 회전과 관련된 동작은 yaw 방향 각속도를 확인하여 구분하였다. 이 후 보행과 관련된 동작은 자동으로 구분되었다[그림 2].

TUG 하위 동작 구분 후, TUG 하위 동작 별 측정되는 feature는 선행 연구를 통해 선별하였다[3, 5, 6]. 연구진 논의를 통해 총 65개의 feature가 선별되었으며, TUG 하위 동작 별 feature는 표 1에 표기하였다. 그러나 많은 수의 feature는 고령자의 연령을 추정하는데 정확도를 낮추기 때문에 중복되는 feature를 제외하고 주요한 feature만을 선별하기 위해 단계적 회귀 분석법을 수행하여 주요 feature를 선별하고 고령자 연령 추정 회귀식을 도출하였다. 연령은 60대, 70대, 80대 3개의 class로 구분하였다. 연령 추정 회귀식을 도출하기 위해서 45명의 데이터를 활용하였고, 7명의 데이터는 회귀식 검증을 위해 사용하였다.



[그림 2] 각속도 데이터를 활용한 TUG 하위 동작 구분

[표 1] TUG 하위 동작 별 Feature

TUG Sub-task (number of)	Feature(abbreviation)	Meaning
--------------------------	-----------------------	---------

Total (1)	Time(Total <sub>time</sub> )	TUG 총 수행 시간
Sit to stand (8)	Sit to stand Time(STS <sub>time</sub> )	기립 시간
	<b>Mean Acceleration</b> Vertical(STS $VT_{mean}$ ) Medio-lateral(STS $ML_{mean}$ ) Anterior-posterior(STS $AP_{mean}$ ) Overall Acceleration(STS $OA_{mean}$ )	기립 시 방향 별 평균 가속도
	<b>Mean Angular velocity</b> Yaw(STS $YAW_{mean}$ ) Pitch(STS $PITCH_{mean}$ ) Roll(STS $ROLL_{mean}$ )	기립 시 방향 별 평균 각속도
	<b>Time</b> Time( $FG_{time}$ ) Step time( $FG ST_{time}$ ) Stride time( $FG STD_{time}$ )	전방 보행 시간 걸음 시간 활보 시간
Forward gait (13)	Gait Speed( $FG_{speed}$ )	보행 속도
	<b>Number of</b> Step( $FG_{step}$ ) Stride( $FG_{stride}$ )	걸음 수 활보 수
	<b>Mean Acceleration</b> Vertical( $FG VT_{mean}$ ) Medio-lateral( $FG ML_{mean}$ ) Anterior-posterior( $FG AP_{mean}$ ) Overall Acceleration( $FG OA_{mean}$ )	전방 보행 시 방향 별 평균 가속도
	<b>Mean Angular velocity</b> Yaw( $FG YAW_{mean}$ ) Pitch( $FG PITCH_{mean}$ ) Roll( $FG ROLL_{mean}$ )	전방 보행 시 방향 별 평균 각속도
Mid turn (12)	<b>Time</b> Time( $MT_{time}$ ) Step time( $MT ST_{time}$ ) Stride time( $MT STD_{time}$ )	반환점 회전 시간 걸음 시간 활보 시간
	<b>Number of</b> Step( $MT_{step}$ ) Stride( $MT_{stride}$ )	걸음 수 활보 수
	<b>Mean Acceleration</b> Vertical( $MT VT_{mean}$ ) Medio-lateral( $MT ML_{mean}$ ) Anterior-posterior( $MT AP_{mean}$ ) Overall Acceleration( $MT OA_{mean}$ )	회전 시 방향 별 평균 가속도
	<b>Mean Angular velocity</b> Yaw( $MT YAW_{mean}$ ) Pitch( $MT PITCH_{mean}$ ) Roll( $MT ROLL_{mean}$ )	회전 시 방향 별 평균 각속도
Return gait (13)	<b>Time</b> Time( $RG_{time}$ ) Step time( $RG ST_{time}$ ) Stride time( $RG STD_{time}$ )	복귀 보행 시간 걸음 시간 활보 시간
	Gait Speed( $RG_{speed}$ )	보행 속도
	<b>Number of</b> Step( $RG_{step}$ ) Stride( $RG_{stride}$ )	걸음 수 활보 수
	<b>Mean Acceleration</b> Vertical( $RG VT_{mean}$ ) Medio-lateral( $RG ML_{mean}$ ) Anterior-posterior( $RG AP_{mean}$ ) Overall Acceleration( $RG OA_{mean}$ )	복귀 보행 시 방향 별 평균 가속도
End turn (10)	<b>Mean Angular velocity</b> Yaw( $RG YAW_{mean}$ ) Pitch( $RG PITCH_{mean}$ ) Roll( $RG ROLL_{mean}$ )	복귀 보행 시 방향 별 평균 각속도
	<b>Time</b> Time( $ET_{time}$ ) Step time( $ET ST_{time}$ )	제자리 회전 시간 걸음 시간
	<b>Number of</b>	걸음 수

	Step( $ET_{step}$ )	
	<b>Mean Acceleration</b> Vertical( $ET_{VT_{mean}}$ ) Medio-lateral( $ET_{ML_{mean}}$ ) Anterior-posterior( $ET_{AP_{mean}}$ ) Overall Acceleration( $ET_{OA_{mean}}$ )	제자리 회전 시 방향 별 가속도
	<b>Mean Angular velocity</b> Yaw( $ET_{YAW_{mean}}$ ) Pitch( $ET_{PITCH_{mean}}$ ) Roll( $ET_{ROLL_{mean}}$ )	제자리 회전 시 방향 별 가속도
<b>Stand to sit (8)</b>	Stand to Sit Time( $STtS_{time}$ )	착석 시간
	<b>Mean Acceleration</b> Vertical( $STtS_{VT_{mean}}$ ) Medio-lateral( $STtS_{ML_{mean}}$ ) Anterior-posterior( $STtS_{AP_{mean}}$ ) Overall Acceleration( $STtS_{OA_{mean}}$ )	착석 시 방향 별 가속도
	<b>Mean Angular velocity</b> Yaw( $STtS_{YAW_{mean}}$ ) Pitch( $STtS_{PITCH_{mean}}$ ) Roll( $STtS_{ROLL_{mean}}$ )	착석 시 방향 별 가속도

### 3. 연구 결과

단계적 회귀분석 결과, 고령자의 연령을 추정하기 위한 13개의 주요 feature가 추출되었다. 세부적으로, 기립단계에서  $STs_{VT_{mean}}$  1개, 전방 보행 단계에서  $FG_{YAW_{mean}}$  1개, 반환점 회전 단계에서  $MT_{Time}$ ,  $MT_{Stride}$ ,  $MT_{AP_{mean}}$ ,  $MT_{OA_{mean}}$  4개, 복귀 보행 단계에서  $RG_{Step}$  1개, 제자리 회전 단계에서  $ET_{Time}$ ,  $ET_{YAW_{mean}}$ ,  $ET_{PITCH_{mean}}$  3개, 착석 단계에서  $STtS_{ML_{mean}}$ ,  $STtS_{AP_{mean}}$ ,  $STtS_{PITCH_{mean}}$  3개가 추출되었다. 회귀식 정확도는 93.5%, 예측 정확도는 87.4%가 도출되었다. 회귀식 검증 정확도는 93.0%가 도출되었다.

[표 2] 회귀식 검증 결과

Actual ageing	예측 연령
60	62
60	64
70	69
70	72
70	71
80	85
80	89

### 4. 결론

본 연구에서 IMU를 활용하여 TUG 평가를 수행하고 IMU 가속도 데이터를 활용하여 TUG 하위 동작을 구분하였다. 또한 구분된 TUG 하위 동작 별 feature를 선별하고 고령자 연령 추정을 위해 단계적 회귀 분석을 통해 주요 feature를 추출하였다. 추출된 주요 feature를 활용하여 회귀식을 도출하고 도출된 회귀식을 별도의 데이터를 통해 검증하여 최종적으로 정확도 93.0%의 결과를 획득하였다. 본 연구는 고령자 연령을 추정하기 위해 52명의 데이터를 활용하였으나, 예측 정확

도를 향상시키기 위해 다수의 피험자 모집이 필요할 것으로 사료된다. 또한 고령자 이외의 다양한 연령대를 모집하여 관성센서 기반의 TUG 평가를 통한 연령 추정 회귀식의 적용 범위를 넓힐 수 있을 것으로 보인다. 본 연구는 향후 관성센서 기반 TUG 측정 및 분석 프로그램 개발을 위한 기초연구 자료로써 활용 될 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] Raymakers, J.A., Samson, M.M. and Verhaar, H.J.J., The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s), *Gait and Posture*, 21(1), 48-58, 2005
- [2] Najafi, B., Horn, D., Marclay, S., Crews, R.T., Wu, S. and Wrobel, J.S., Assessing postural control and postural control strategy in diabetes patients using innovative and wearable technology, *Journal of Diabetes Science and Technology*, 4(4), 780-791, 2010.
- [3] Beyea, J., McGibbon, C.A., Sexton, A., Noble, J. and O'Connell, C., Convergent validity of a wearable sensor system for measuring sub-task performance during the timed up and go test, *Sensors*, 17(4), 934, 2017
- [4] Podsiadlo, D. and Richardson, S., The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons, *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142-148, 1991.
- [5] Vervoort, D., Vuillerme, N., Kosse, N., Hortobagyi, T. and Lamoth, C.J.C., Multivariate analyses and classification of inertial sensor data to identify aging effects on the timed up and go test, *PLoS One*, 11(6), 2016.
- [6] Zakaria, N.A., Kuwae, Y., Tamura, T., Minato, K. and Kanaya, S., Quantitative analysis of fall risk using TUG test, *Computer Methods Biomechanics and Biomedical Engineering*, 18(4), 426-437, 2013.