

# 신장반사를 위한 근활성도 모델을 이용한 경직환자의 진단 Diagnosis of a spasticity using activation model of a stretch reflex

강문정\* · 조영남\* · 유흥희†

Moon Jeong Kang, Young Nam Jo and Hong Hee Yoo

## 1. 서 론

경직은 척수나 뇌의 손상으로 인한 신장반사의 과민 반응으로 인해 근육이 과도하게 수축하여 일어나는 현상이다. 이것은 신장반사의 특징으로 인해 근육의 수축 속도에 비례하여 반사가 항진되는 속성이 있다. 경직은 중추 신경계 손상 환자에서 흔히 찾아볼 수 있는 질환이며, 여러 합병증을 유발하고 일상 생활에 상당한 불편함을 초래한다. 그러나 아직까지 경직의 원인을 정확하게 규명하지 못하고 있다.

경직을 치료하기 위해서는 운동이나 약물 요법 등 다양한 치료법이 제시되었으나 이러한 방법의 효과를 객관적으로 검증할만한 척도가 체계적으로 제시되어있지 않다. MAS(Modified Ashworth Sacle)은 근경직을 판단하는 척도로 활용되고 있는 대표적인 방법이다. 이 방법은 관절의 가동범위에 따라 5 개의 등급을 책정한다. 그러나 이러한 방법은 검사자의 주관적 평가를 기반으로 하며 등급간의 차이가 크기 때문에 경직에 대한 정밀한 평가가 어렵다.

정량적으로 경직을 평가하기 위한 많은 연구가 이뤄져 왔다. Akman 은 등속성 동력계(isokinetic dynamometer)를 이용하여 피검자의 관절을 수동적으로 운동시켜 관절에 가해지는 토크를 측정하여 경직의 평가 척도로 사용하였다. Skold 등 은 Ashworth 지표와 더불어 EMG(electromyographic) 신호를 측정하여 경직을 평가하였다. 최근에는 비교적 간단한 방법으로써 Wartenber 가 제안한 진자 검사(pendulum test)가 많이 활용된다. 이 방법을 바탕으로 하여 경직을 평가하기 위한 해석적 모델들이 제안되었으며, 모델의 여러 파라미터들에 의해 경직의 특징을 물리적으로 구현할 수 있게 되었다.

본 연구의 최종 목적은 신장반사를 해석하기 위해

제안된 근활성도 모델을 경직환자의 신장반사에 적용하여 각 파라미터의 변화를 파악하고, 이 정보를 이용하여 보다 객관적이고 직관적인 진단 척도를 제안하는데 있다. 이를 위해 본 연구에서는 MAS 등급 별로 경직환자의 실험 정보를 이용하여 신장 반사 해석모델에 필요한 파라미터들의 차이를 분석하였다.

## 2. 모델링

### 2.1 근골격계 모델

경직을 평가하기 위해 진자 실험을 통해 슬개건 반사를 유도하였다. 진자 실험을 이용한 슬개건 반사 시험은 경직을 평가하기 위해 가장 널리 활용되고 있는 방법으로 앉은 자세에서 무릎을 최대의 각도로 신전시킨 상태에서 떨어뜨리는 방법이다. 본 연구에서는 진자 실험을 통해 측정된 무릎과 종아리의 운동학적 정보와 근전도 신호를 이용하여 해석을 수행하였다. 모델은 Fig.1과 같이 시상면에서 평면운동을 한다고 가정하고, 무릎을 레볼루트(revolvute) 조인트로 모델링하였다. 또한 무릎관절과 이를 둘러싼 구조물간의 마찰로 인한 감쇠효과를 고려하여 다음과 같은 운동방정식을 유도하였다.

$$I\ddot{\theta}_1 + c\dot{\theta}_1 + MLg \sin q_1 - F_Q D_{pr} = 0 \quad (1)$$

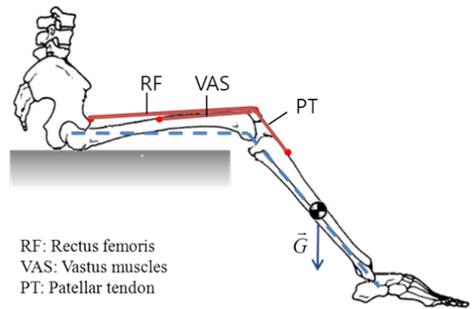


Fig 1 Musculoskeletal model

† 교신저자: 정희원, 한양대학교 기계공학부  
E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr  
Tel : 02-2220-0446, Fax : 02-2299-8169  
\* 한양대학교 기계공학과

## 2.2 근육 모델

해석 모델에는 신장반사에 직접적으로 관여하는 근육 중 시상면 운동에 영향을 미치는 대퇴직근과 광근을 고려하였다. 각 근육은 Hill-type 모델로 모델링하였다. 근력은 능동요소와 수동요소가 발생시키는 힘의 합으로 계산되며, 능동요소는 근육의 활성도, 길이, 수축 속도에 의해 결정된다.

$$\tilde{F}^m = \left\{ \tilde{f}_a(a, \tilde{l}^m, \tilde{v}^m) + f_p(\tilde{l}^m) \right\} \cos \phi(\tilde{l}^m) \quad (2)$$

$$\tilde{F}^m = F^m / F_o^m, \quad \tilde{l}^m = l^m / l_o^m$$

## 2.3 근활성도 모델

근활성도는 중추신경의 명령에 의해 근육의 수축을 일으키는 생체신호를 근육 모델에 활용하기 위해 수치적으로 나타낸 값이다. 본 연구에서는 이전 연구에서 개발된 신장반사에 대한 근활성도 모델을 이용하여 근활성도를 예측하고 이를 근육 모델에 활용하였다. 근활성도는 지근과 속근의 비율에 따라 다음 식과 같이 결정된다.

$$u(t) = w_1 \left( \frac{L_F}{T_L} - 1 \right) + w_2 \left( \frac{\dot{L}_F}{T_V} - 1 \right)$$

where,  $T_L = \lambda_1 L_o^m$ ,  $w_1 = \frac{\text{지근의 비율}}{k}$  (3)

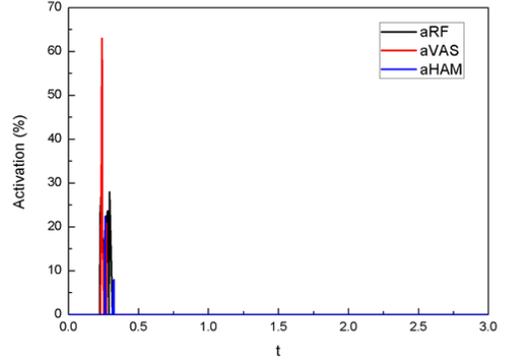
$T_V = \lambda_2 V_{\max}$ ,  $w_2 = \frac{\text{속근의 비율}}{k}$

## 3. 결 과

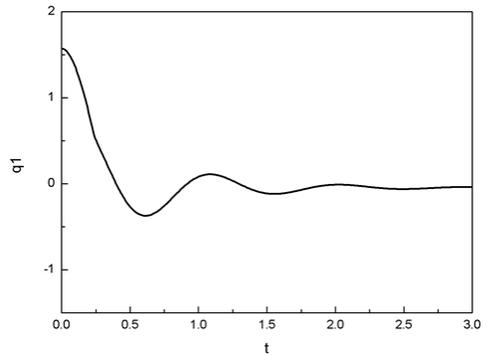
Fig 2, 3은 MAS 4등급의 경직환자에 대한 근활성도 및 무릎의 각도 예측 결과이다. 예측된 결과들은 실험을 통해 측정된 EMG 신호와 무릎의 각도와 유사한 경향을 갖는 것을 확인하였다. 근활성도와 EMG신호의 절대적 비교는 어렵기 때문에 활성화되는 시점을 기준으로 검증하였다. 해석결과 경직환자의 근활성도는 건강한 사람보다 5배에서 8배 가량 크게 나타났다. 위 실험 결과에 사용된 주요 파라미터들의 값은 Table 1 과 같다.

**Table 1** Parameters of an activation model

Actuator	W1	W2	T1	L2
RF	1	0.2	0.042	0.04
VAS	2	0.4	0.085	0.04



**Fig 2** Predicted muscle activation



**Fig 3** Predicted knee angle

## 4. 결 론

본 연구는 경직환자의 진자 실험에 대하여 신장반사 해석 모델을 이용하여 해석하였다. 기존에 널리 사용되는 경직 평가 척도인 MAS를 기준으로 등급별 환자에 대한 해석을 수행하고 이에 따른 결과를 통해 MAS 척도의 한계와 객관적인 지표의 필요성을 확인할 수 있었다. 추후에는 이 연구를 발전시켜 신장반사 해석 모델에 사용된 파라미터들을 경직의 정도에 따라 분류하고 체계화하여 경직의 평가를 위한 객관적인 척도로 제안할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 후 기

이 논문은 국방과학연구소 생존성 기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음 (계약번호 UD1200190D)