

휴대용 CPM(Continuous Passive Motion) 기구 제어를 위한 딥러닝 기반 사람 관절 stiffness 추정

박혜원¹, 허필원^{2*}

¹광주과학기술원 기계공학과 (E-mail:hyewon.park@gm.gist.ac.kr)

²광주과학기술원 기계공학과 (E-mail:pilwonhur@gist.ac.kr)

서론

외과적 수술을 받은 환자의 경우 인해 관절의 임피던스가 증가된 상태이며, 재활을 위한 CPM기구를 통해 단계적으로 관절 움직임의 범위와 속도를 증가시켜 나간다. 본 연구에서는 보다 효과적인 재활 치료를 위해 **환자 개인의 관절 stiffness를 추정하고 이를 기반으로 CPM제어에 적용**하고자 한다. CPM기구를 사용중인 환자의 관절 stiffness 추정을 위해서는 적은 데이터로도 정확한 추정이 가능해야 한다. 따라서 시뮬레이션 데이터를 사용하여 학습된 **딥러닝 모델을 사용하여 관절 stiffness를 추정**하고자 한다.

연구 방법

시뮬레이션

시뮬레이션을 위해 사용된 모델은 아래와 같다.

$$\tau(t) = I\ddot{\theta}(t) + b\dot{\theta}(t) + k\theta(t) \quad (1)$$

τ : random perturbation torque, θ : elbow angle,

I : inertia, b : damping, k : stiffness.

$t = 0 \sim 10s$, $I = 0.02kg \cdot m^2$, $b = 2.0 \sim 4.0Nm \cdot s/rad$

$k = 5Nm/rad \sim 15Nm/rad$ [1]

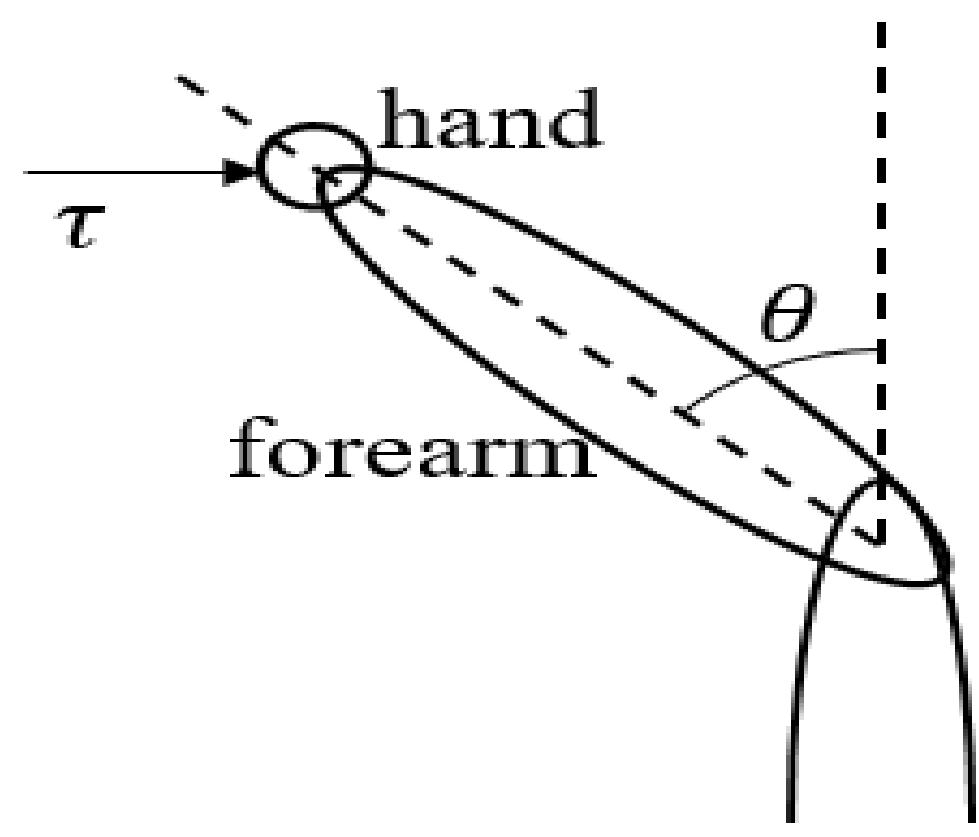


그림 1. 시뮬레이션 모델

Impulse response function 계산 및 검증

각도는 토크와 **impulse response function**의 convolution으로 나타낼 수 있다.

$$\theta[n] = \Delta t \sum_{k=0}^{\infty} h[k]\tau[n-k] \quad (2)$$

위 식을 행렬식으로 나타내면 아래와 같고, H는 **least square approximation**방식으로 아래와 같은 과정을 통해 추정할 수 있다.[2]

$$\theta = \Delta tTH \quad (3)$$

$$H = \frac{1}{\Delta t}T^+\theta \quad (4)$$

위의 식을 통해 구한 H는 nonlinear **least square curve fitting**을 통해 b, k 값을 추정한다.

$$h(t) = a(e^{-bt} - e^{-kt}) \quad (5)$$

딥러닝

딥러닝(LSTM)으로 시간, 토크, 각도를 입력으로 하고, **stiffness와 damping**을 출력으로 하는 모델을 시뮬레이션을 통해 얻은 데이터를 이용하여 학습시킨다.

Batch size	Num layer	Hidden size	Learning Rate	Num epochs
50	4	64	0.001	150
Criterion		Optimizer		
MSELoss		Adam Optimizer		

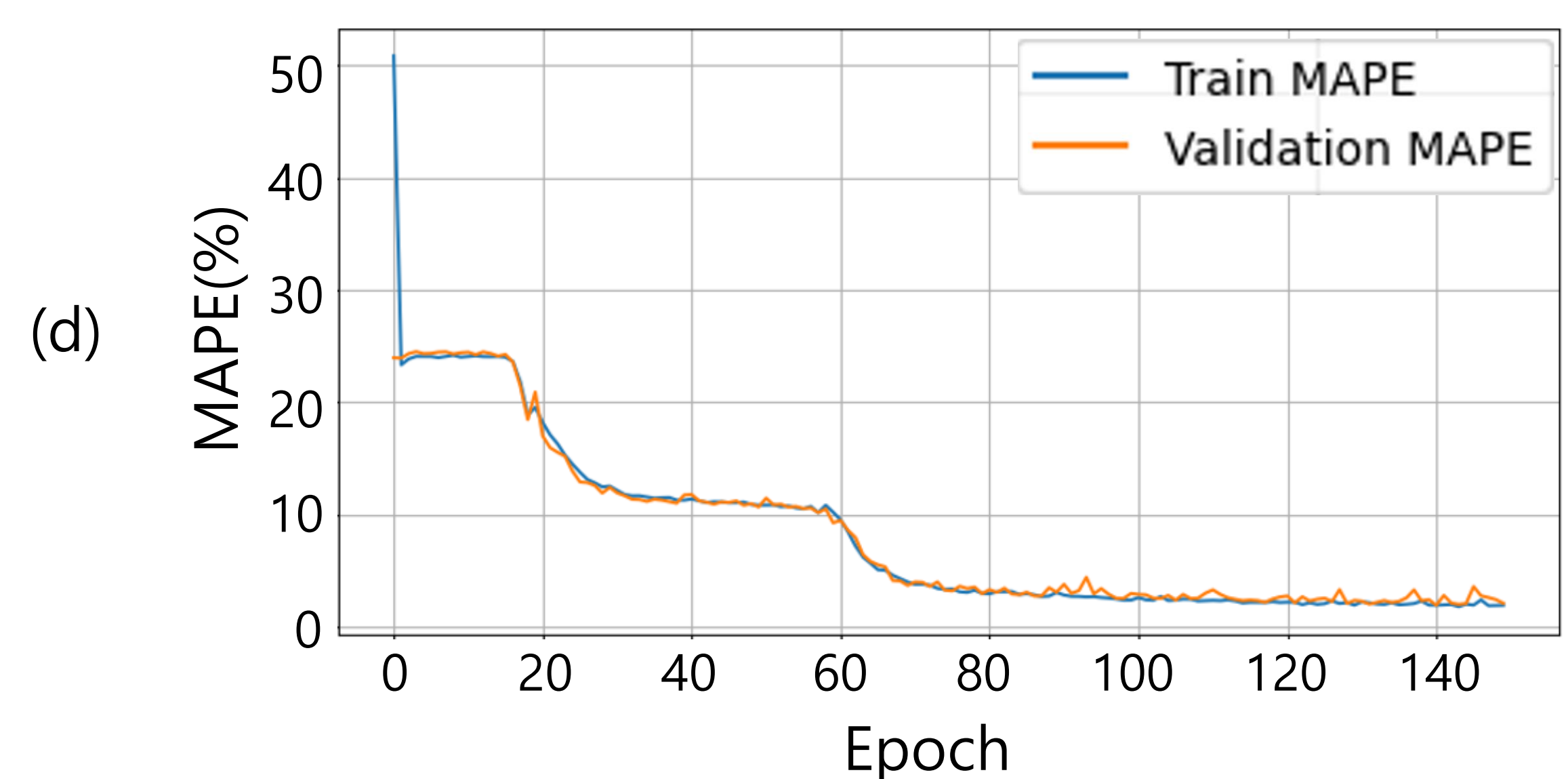
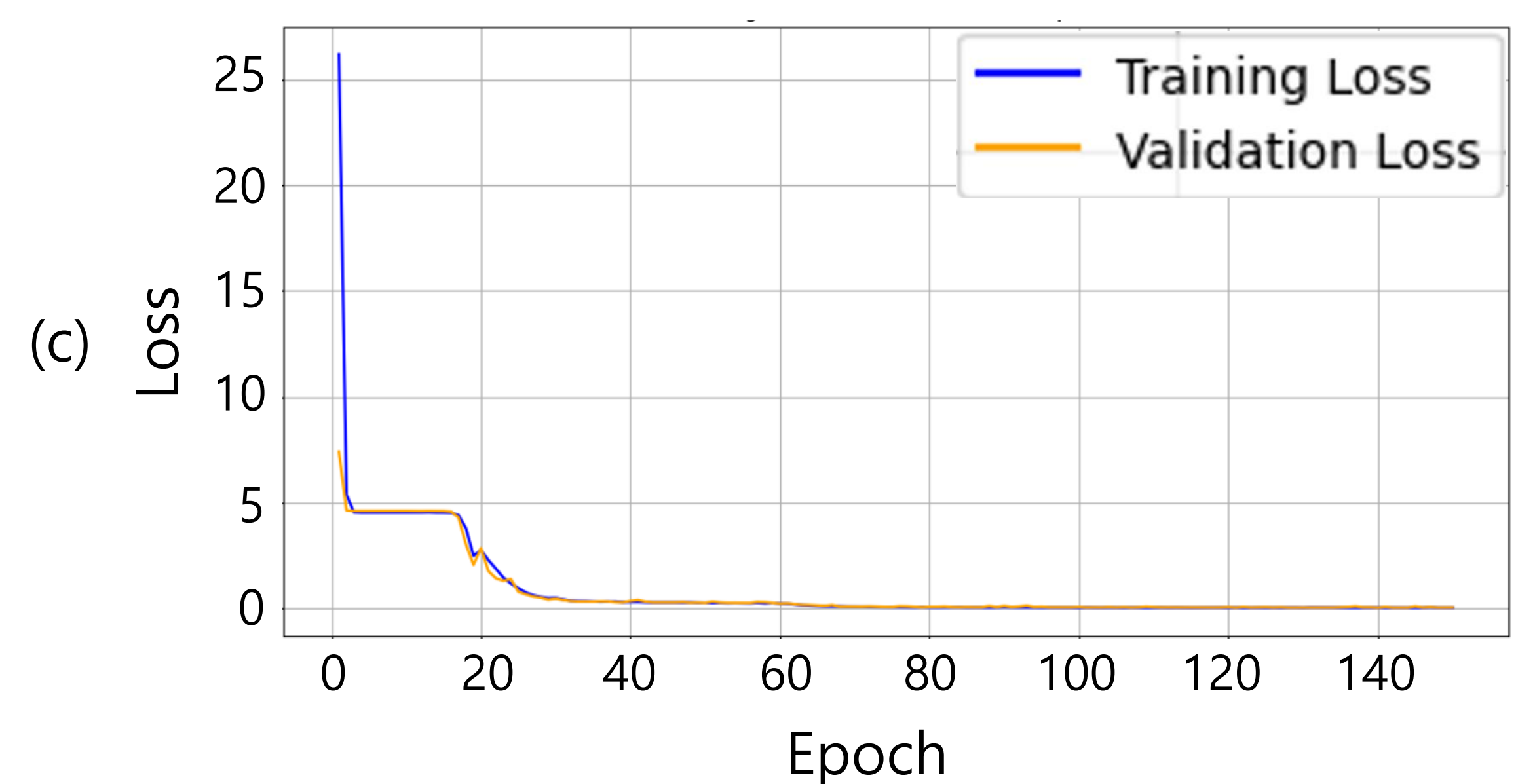
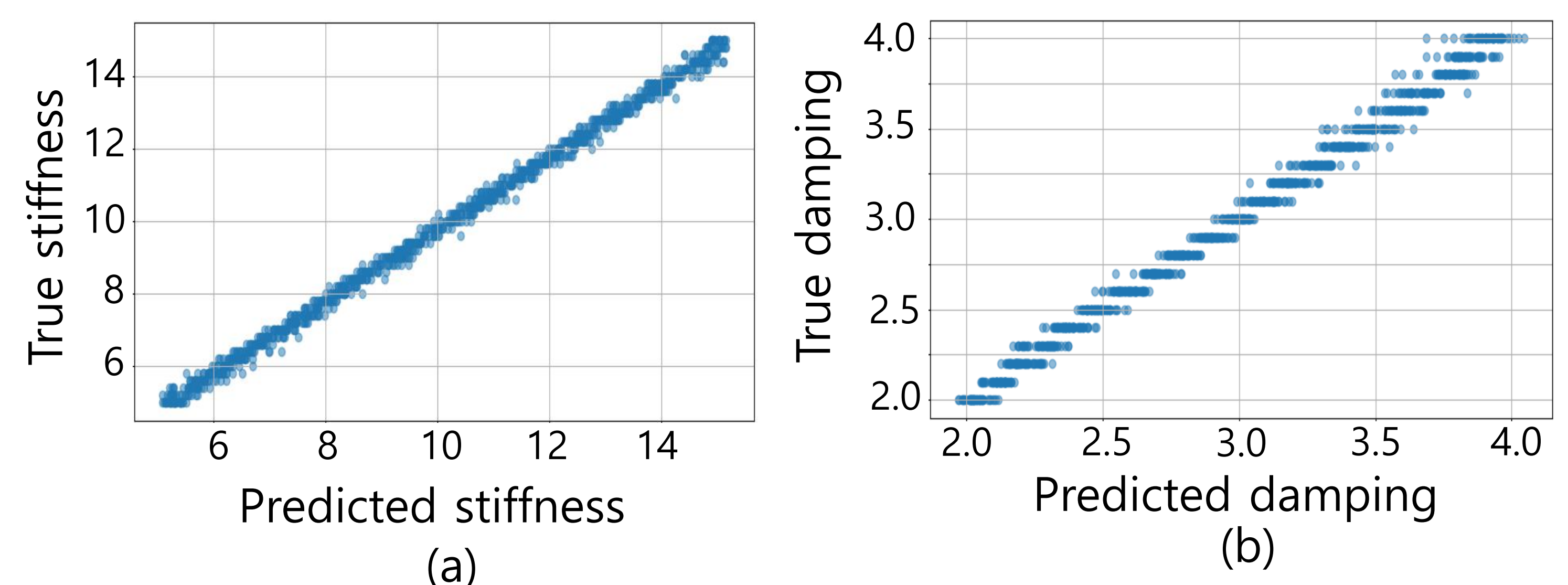
연구결과

Impulse response function을 통한 추정 결과

		계산값	실제값
(a)	$b (Nm \cdot s/rad)$	2.23	2.2
	$k (Nm/rad)$	15.27	15
(b)	$b (Nm \cdot s/rad)$	2.21	2.2
	$k (Nm/rad)$	10.10	10
(c)	$b (Nm \cdot s/rad)$	2.20	2.2
	$k (Nm/rad)$	5.10	5

표1. Least square approximation을 통해 계산한 값과 실제 값

LSTM을 이용한 모델 학습 결과



(a) predicted stiffness vs. true stiffness, (b) predicted damping vs. true damping, (c) training loss & validation loss (d) MAPE(Mean Absolute Percentage Error)

결론

Least-square approximation 방식으로 impulse response function을 구할 경우, 정확도를 위해 수 많은 data set이 필요하다. 하지만, 환자들의 재활 치료를 위한 CPM기구 제어를 위해서는 적은 dataset으로도 stiffness를 추정할 수 있어야 한다. 이를 위해 딥러닝을 이용하여 모델을 학습시켰고, 해당 모델이 유효함을 확인 할 수 있었다. 추후 이 모델을 이용하여 적은 dataset으로 환자의 stiffness를 정확히 추정할 수 있을 것으로 기대된다.