

# 관성 관측기를 이용한 산업용 로봇의 충돌감지에 관한 연구

최치환\*, 신수철\*, 이희준\*, 김영렬\*\*, 원충연\*,  
성균관대학교\*, 안양대학교\*\*

## A study on collision detection of industrial robots using the mechanical inertia observer

Chi Hwan. Choi\*, Soo Cheol Shin\*, Hee Jun Lee\*, Young Real Kim\*\*, Chung Yuen. Won\*  
Sungkyunkwan University\*, Anyang University\*\*

### ABSTRACT

최근 많은 산업분야에서 로봇이 사용되고 있으며, 로봇을 산업 공정에 적용시키기 위해서는 인간의 협업이 반드시 필요하다. 또한 사람의 안전은 무엇보다 중요하기 때문에, 사람과 로봇이 충돌시 로봇이 정지되는 기능은 반드시 필요하다. 그러므로, 본 논문에서는 추정된 관성과 속도 변화량에 의해 계산된 기계적 토크와, q축 전류에 의해 계산된 전기적 토크를 비교하여 로봇이 사람이나 물체에 충돌시 이를 감지하고, 속도 지령을 감소 시킴으로써 로봇이 정지 하는 기능을 시뮬레이션과 실험을 통하여 검증 하였다.

### 1. 서 론

일반적으로 로봇이 사람이나 물체에 충돌 하였을 경우, 토크의 제한을 두어 토크가 설정한 값 이상 발생하였을 경우 충돌로 판단하여 로봇을 정지시키는 알고리즘을 사용한다. 하지만 이 알고리즘의 경우 로봇의 가속 및 감속구간에서의 최대 토크 이상의 설정 값을 사용해야 하기 때문에, 등속 구간에서는 상대적으로 큰 충격이 가해져야 충돌을 감지 할 수 있게 된다. 또한, 부하의 변동이 큰 로봇의 경우에는 토크 제한값 이상으로 토크가 발생할 수 있기 때문에, 상대적으로 높은 제한값을 사용해야 한다. 그러므로, 로봇에 큰 충격이 가해져야 감지를 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 로봇의 관성  $\hat{J}$ 를 추정하고, 관성과 속도로 계산된 기계적 토크  $\hat{T}_m$ 와, q축 전류와 토크 상수로 계산된 전기적 토크  $T_e$ 를 비교함으로써,

가속 및 등속 구간 모두에서 외부에서 발생한 충돌 토크가 동일하게 나타나게 된다. 그러므로, 토크 제한값을 상대적으로 낮게 설정 할 수 있고, 로봇이 사람이나 물체의 작은 충격에도 충격을 감지할 수 있게 된다. 또한 감지 이후 속도 지령을 급격하게 감소 시켜 빠른 속도로 로봇을 정지 시킬 수 있다.[1]

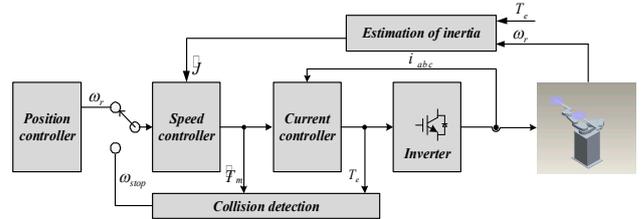


그림 1 산업용 로봇의 충돌감지

Fig. 1 Collision detection of the industrial robot

### 2. 본 문

#### 2.1 산업용 로봇의 충돌감지 알고리즘

그림 2는 산업용 로봇의 충돌감지 알고리즘 블록도를 나타낸다. 위치 제어기는 모터의 엔코더로부터 위치 입력을 피드백 받아 위치 제어기를 수행한다. 이후 속도 PI제어기, 전류 PI 제어기를 수행하여 로봇을 구동시킨다. 이때 전기적 토크는 식 (1)에 의해 계산 되어지며, 식 (2)를 이용하여 로봇 관성의 추정이 가능하다. 관성추정은 일반적으로 q축 전류를 임의로 인가하여 관성을 추정하는 방식이 사용되나, 로봇 시스템에서는 이동거리에 제한이 있기 때문에, 가속 구간에서 속도의 변화량을 측정하여 로봇의 관성을 측정 하였다. 기계적 토크는 식 (3)

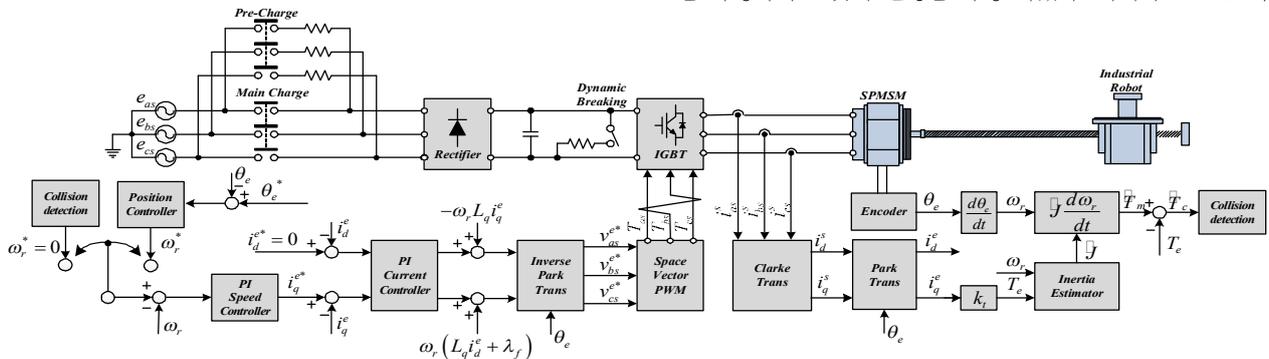


그림 2 산업용 로봇의 충돌감지 알고리즘 블록도

Fig. 2 Block diagram of collision detection algorithm in the industrial robot

에 의해 계산 된다. 로봇이 충돌이 일어났을 경우 속도 제어기에서는 속도를 계속 유지하려 한다. 그러므로, q축 전류 기준값을 증가시키고 모터의 상전류가 증가하게 된다. 때문에, 식 (1)로부터 전기적 토크는 크게 증가 하지만, 속도의 변화가 적게 된다. 식 (3)으로부터 계산된 기계적 토크는 상대적으로 작게 변화하게 되며, 식 (4)로부터 충돌 토크가 나타나게 된다. 이 충돌토크가 파라미터에서 설정된 제한값 이상 발생시 로봇의 속도 지령 입력을 위치제어기가 아닌 감속 속도 프로파일로부터 입력 받아 로봇을 빠른 속도로 정지 시킬 수 있도록 한다. [2][3]

$$T_e = K_t i_q^e \quad (1)$$

$$\hat{J} = T_e / \frac{d\omega_r}{dt} \quad (2)$$

$$\hat{T}_m = \hat{J} \frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r \quad (3)$$

$$\hat{T}_c = T_e - \hat{T}_m \quad (4)$$

## 2.2 시뮬레이션 결과

표 1은 시뮬레이션과 실험에서 사용한 SPMSM의 파라미터이다. 전류 제어기 주파수 및 스위칭 주파수는 10kHz, 속도 제어기 주파수는 5kHz, 위치 제어기 주파수는 2.5kHz로 실험 하였다.

표 1. SPMSM 파라미터

항목	값
용량	750 (W)
$R_s$	0.72 ( $\Omega$ )
$L_s$	3.3 (mH)
정격전류	4.0 (Arms)
토크상수	0.64 (Nm/Arms)
관성	0.87 ( $10^{-4} Kg \cdot m^2$ )

그림 3은 충돌 토크, 관성추정, q축 전류와 속도의 시뮬레이션 결과파형이다.

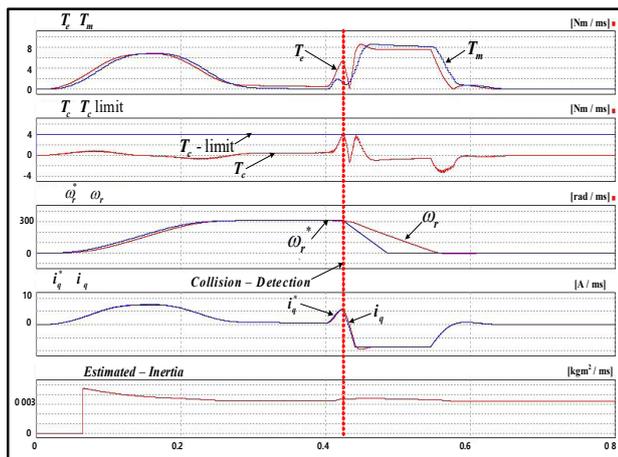


그림 3 충돌감지 시뮬레이션 결과

Fig. 3 Simulation results of collision detection

충돌 감지시 q축 전류는 증가하게 되므로 전기적 토크  $T_e$ 는 그림 3과 같이 나타나게 되고, 기계적 토크  $\hat{T}_m$ 은  $d\omega_r/dt$  및 추정된 관성에 따라서 나타난다. 때문에 충돌 토크  $\hat{T}_c$ 는

가속 및 감속에서는 거의 나타나지 않고 충돌이 일어났을 경우 나타나게 된다. 또한,  $\hat{T}_c$ 가 4[Nm]를 넘었을 경우 속도 기준값  $\omega_r^*$ 을 감소시켜 모터를 감속 시키도록 시뮬레이션 하였다.

## 2.3 실험 결과

그림 4는 가속 이후 등속 구간에서 로봇에 외부 충격을 가했을 경우 실험 파형을 보여준다. 가감속 구간에서는 실제 충격토크  $\hat{T}_c$ 가 거의 나타나지 않으며, 외부 충돌시 크게 커지는 것을 볼 수 있다. 또한 충격 감지시 속도 지령을 100[rpm]씩 줄여 속도 지령을 감소 시키며, q축 전류가 증가하여 로봇은 빠른 속도로 멈추게 된다.

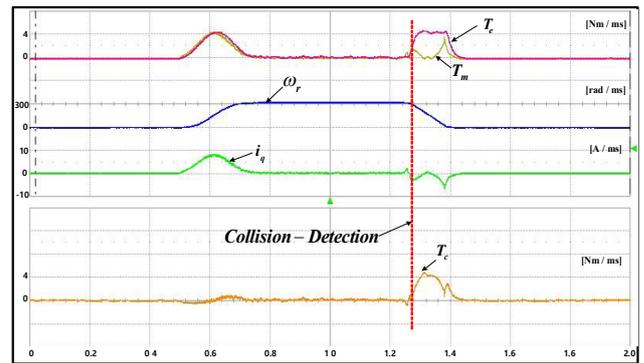


그림 4 충돌감지 실험 결과

Fig. 4 Experimental results of collision detection

## 3. 결론

본 논문에서는 로봇이 사람이나 물체와 충돌시 전기적 토크  $T_e$ 와 추정된 관성에 의해 계산된 기계적 토크  $\hat{T}_m$ 을 비교하여 충격 토크  $\hat{T}_c$ 를 얻을 수 있다. 계산된 충격 토크가 제한된 파라미터 값을 넘을 경우 속도 지령을 급격하게 감소시켜 로봇을 빠르게 정지하는 알고리즘을 시뮬레이션과 실험을 통하여 증명 하였다..

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(2010H100100160)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

## 참고 문헌

- [1] Thomas Bruckner, Steffen Bemet, Peter K. Steimer. "Sensorless Robot Collision Detection and Hybrid Force/Motion Control". IEEE International Conference on robotics and automaion. Vol. 1, 2005.
- [2] Yu, Y. , Arima, T. , Tsujio, S. "Estimation of Object Inertia Parameters on Robot Pushing Operation". IEEE International Conference on robotics and automaion. Vol. 2, 2005.
- [3] Liu, J. x. , Li, T. c. , Yang, G. j. "Rotor position and speed estimation for PMSM". Electric machines and control. Vol. 13 No. 5. 2009.