

그림 2 Stator Flux & Slip Observer [5]

$$w_c = \frac{w_e}{k} \quad (3)$$

$$w_{sl} = \frac{L_m^2}{L_r^2} \frac{R_r \bar{\lambda}_s \otimes \bar{i}_s}{(\bar{\lambda}_s - \sigma L_s \bar{i}_s)^2} \quad (4)$$

축에 동기 된 상태라면 식 (4)와 같이 슬립은 추정된 고정자 자속과 전류에 대한 내적 외적연산을 통하여 표현 될 수 있으며 연산된 슬립주파수를 필터를 거쳐 w_{sl_cst} 을 결정한다. 또한 전압 방정식으로부터 추정된 역기전력의 크기성분에 대한 오차 성분만큼 전압의 크기를 보상하여 최종 출력 전압 V_s 을 생성한다. 자속과 역기전력의 추종 성능 개선으로 인해 슬립제어를 수행함으로써 저속운전 시 동특성이 향상되어 트레드밀 시스템에 적용하기 적합하다.

3. 시뮬레이션 결과

본 연구에서 적용한 제어방법의 성능을 입증하기 위해 트레드밀 부하에 대한 속도제어 시뮬레이션을 하였다. 사용한 시뮬레이션 툴은 PSIM을 사용하였고, 시뮬레이션에 사용된 유도전동기의 파라미터는 표 1과 같다. 자속 추정 및 슬립제어 주기는 1ms, 추정 역기전력에 대한 전압보상 제어는 5ms 주기로 설정 하였으며 스위칭 주파수는 10kHz 를 사용하였다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 3상 유도전동기 시정수

상 수 [상]	4
고정자 저항 R_s [Ω]	0.7
회전자 저항 R_r [Ω]	0.75
상호 인덕턴스 L [mH]	67
회전자 관성모멘트 J_m [$kg \cdot m^2$]	1.2×10^{-3}
점착 계수 B_m [$Nm/(rad/s)$]	1×10^{-3}

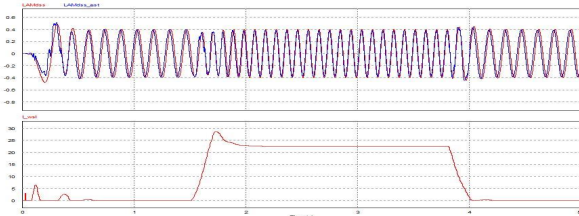


그림 3 고정자 자속 및 슬립 추정 시뮬레이션 파형

그림 3은 급변하는 부하에서 제안하는 슬립 추정 방식을 사용했을 때 자속 및 슬립 추정 성능을 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 램프형태의 부하토크가 인가되는 순간 모터의 실제 고정자 자속과 추정된 고정자 자속을 비교하며 추정된 슬립을 나타낸다.

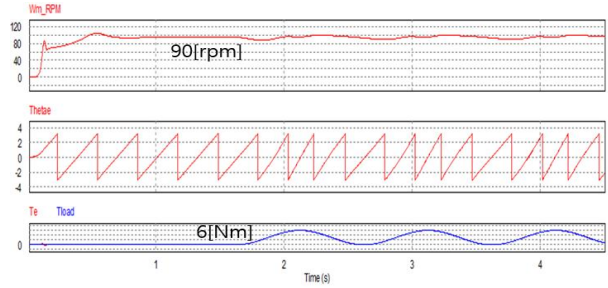


그림 4 90rpm 속도제어 시뮬레이션

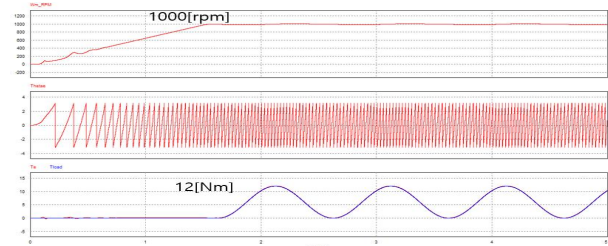


그림 5 1000rpm 속도제어 시뮬레이션

그림 4, 5는 각각 속도명령 90rpm, 1000rpm에서의 트레드밀 부하에 대한 속도제어 성능을 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 트레드밀 부하는 발을 내딛는 순간 벨트를 통하여 모터로 전달되며 체중에 비례한 정현파 형태를 나타낸다. 두 과형 모두 이러한 부하조건에서도 6rpm 미만의 속도 오차를 가지며 기준속도를 정확히 추종하여 안정적인 성능을 나타내므로 트레드밀 시스템에서 요구하는 조건에 부합하는 제어 성능을 가지는 것을 알 수 있다.

4. 결론

트레드밀 시스템은 다양한 유도전동기 센서리스 응용 분야 중에서도 저속 및 고속에 걸친 전체 운전 속도영역에서 부하가 주기적으로 급변하는 특징을 가지고 있어 안정적인 저속제어에 어려움이 있다. 본 연구에서는 저속 영역에서도 자속 및 슬립 추정기의 보다 안정적인 성능을 갖는 제어기법을 트레드밀 시스템에 적용하여 3Hz 입력 주파수 1.5rpm의 속도에서도 안정적인 제어가 가능하다. 기존 제어방식을 사용했을 때 보다 저속 운전 영역이 확장되어 트레드밀 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

참고 문헌

- [1] Joachim Holtz, "Sensorless Control of Induction Motor Drives", Proceedings of the IEEE, Vol.90, pp.1359-1394, 2002. 8
- [2] 이종선, "트레드밀 기구의 진동해석", 한국산학기술학회 논문지, Vol.7, No.4 pp.539-544, 2006.
- [3] 한상수, "슬립추정 센서리스 벡터제어기", 한국정보통신학회 논문집, pp.2299-2304, 2010. 10
- [4] 장봉수, 박강효, "센서리스 유도전동기의 새로운 슬라이딩 모드 관측기", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.940-941, 2010. 7
- [5] Chun Chieh Wang, Chin Hsing Fang "Sensorless scalar controlled induction motor drives with modified flux observer", IEEE Transactions on Energy Conversion Vol.18, pp.181-186, 2003. 5.