

사용량(usage)과 연령(age)에 따라 고장이 발생하는 생산시스템의 분석

양원석* · 채경철*

* 한국과학기술원 산업공학과

Abstract

생산 시스템에서 생산 장비는 내적/외적 요인에 의해 성능이 저하되다가 고장이 발생한다. 생산 장비가 고장나면, 장비 고장에 따른 장비 수리 및 비용 뿐만이 아니라 생산 계획의 차질과 생산 제품의 품질 저하로 이어진다. 따라서, 고장이 발생하는 생산 시스템의 분석은 중요하다.

속모형(shock model)은 고장이 발생하는 시스템을 분석하기 위한 확률모형(stochastic model)으로 그간 상당히 많은 연구가 진행되었다. 그러나 기존 연구는 시스템의 사용량(usage) 또는 연령(age)만을 고려하였다. 실제 시스템에서는 생산 장비의 연령과 사용량이 동시에 기계의 성능에 영향을 미친다. 즉, 기계를 더욱 많이 사용할수록, 기계의 연령이 증가할수록 (기계를 사용하지 않더라도 외적요인에 의해) 기계는 좀더 마모되고 고장난다. 본 연구는 보증상품(warranty product)의, (예를 들어, 자동차의) 고장 과정을 보증상품의 연령과 사용량을 동시에 고려한 합성지표(synthesized time index)를 이용하여 분석한 Ahn and Chae (1998)의 연구를 생산시스템으로 응용/확장한 것이다.

본 논문에서는 사용량과 연령에 따라 기계의 성능이 저하되고 고장이 발생하는 생산시스템의 수리모형을 제안한다. 그리고 기계의 수명 분포와 기계가 고장나기 직전까지 생산한 제품수의 분포를 유도한다. 구체적인 모형은 다음과 같다 :

생산 시스템에는 기계 한 대와 무수히 많은 원자재가 있다. 기계는 하나의 원자재로부터 제품을 한 개씩 생산한다. 기계 상태(state)는 $0, 1, \dots, \beta-1, \beta$ 의 유한 상태를 갖는다. 생산 시간은 비율이 μ_k 인 지수분포를 따른다. 이때 k 는 기계 상태를 의미한다. 초기 기계 상태는 0 이다. 기계는 0인 상태가 성능이 가장 좋으며 기계 상태가 커질수록 성능이 떨어지다가 기계 상태가 β 이상이면 기계가 고장난다고 가정한다. 즉, $\mu_0 > \mu_1 > \dots > \mu_{\beta-1}, \mu_\beta = 0$ 이라 가정한다.

속은 발생률이 δ 인 포아송과정(Poisson process)에 따라 발생한다. 속의 크기 G 는 다음과 같은 분포를 따른다: $P[G=k] = g_k, k=1,2,\dots$. 속이 시스템에 발생하면 기계 상태는 G 만큼 증가한다. (속은 연령에 따른 기계 성능의 저하 및 고장과정을 나타낸다.) 한편, 제품을 한 개 만들 때마다 마아코프 연쇄(Markov chain)에 따라 기계 상태가 변한다. $m_{k,j}$ 를 마아코프 연쇄의 전이 확률이라 표기하자. $k=0,1,\dots,\beta$ 그리고 $j=0,1,\dots,\beta$ 에 대해, $k > j$ 또는 $k=\beta$ 이면 $m_{k,j}=0$ 이고 그렇지 않으면 $m_{k,j} \neq 0$ 라 가정한다. (마아코프 연쇄는 사용량에 따른 기계 성능의 저하 및 고장과정을 나타낸다.) 현재 기계 상태와 방금 발생한 속의 크기의 합이 β 이상이거나 마아코프 연쇄에 의해 기계상태가 β 에 도달하면 기계가 고장난 것으로 간주한다.

기계상태와 생산된 제품수의 2차원으로 표기된 시스템 상태는 흡수 마아코프 연쇄(absorbing Markov chain)가 된다. 이 흡수 마아코프 연쇄는 특수한 구조를 갖기 때문에 흡수시간(absorbing time)과 흡수 직전시간까지 전이 횟수를 분석하면 기계 수명과 생산 제품수의 분포를 분석할 수 있다.