

마코프 프로세스와 역대 판매량 실적을 이용한 IT 제품 수명주기 예측 모델링에 관한 연구 -아이폰 사례-

유재욱
동아대학교 경영학과

A Study on IT Product Lifecycle Prediction Modeling using Markov Process and Historical Sales Volume -iPhone Case Study-

Jaewook Yoo
Department of Business Administration, Dong-A University

요약 오늘날 시장 환경에서 IT 제품의 수명주기는 매우 짧을 뿐만 아니라 한 기업이 개발한 두 개 또는 세 개 세대 이상의 제품들이 출시 시점은 다르더라도 같은 시장 세그먼트에서 상당 기간 동안 겹쳐서 시장에 상존하는 상황이 빈번히 발생하고 있다. 본 연구에서는 이와 같이 제품수명주기가 짧고 한 기업이 여러 세대 제품군을 한 시장에 출시하는 시장 환경에서 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기를 예측하는 모델을 제시한다. 본 연구에서 제시한 모델을 실제 사례에 적용하기 위하여 애플의 과거 2007년 3분기부터 2018년 3분기까지 총 45개 분기의 14개 세대 아이폰들의 분기별 글로벌 판매량 데이터 수집하였고 본 연구의 모델이 제대로 적용되도록 세대제품별 판매량 데이터를 추정하였다. 본 연구의 모델의 타당성을 검증하기 위해서 10개의 테스트가 수행되었다. 모델의 성능을 보여주기 위하여 본 연구의 모델이 주는 제품수명주기 상태의 기대값과 실제값인 관측값의 차이를 관측값에 대한 백분율로 측정하였다. 아이폰 사례의 경우 본 연구가 제시한 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델은 미래 아이폰의 제품수명주기 상태를 예측하는 성능이 94.28% 였다.

Abstract In this study, we present a Markov model to predict the product life cycle in today's market environment where the product life cycle is short, and a company releases multiple generation products in one market. To apply the model presented in this study to an actual case, we collected quarterly global sales data of 14 generations of iPhones. The data were collected from 45 quarters of Apple from the 3rd quarter of 2007 to the 3rd quarter of 2018. The sales data of each generation product were estimated for proper application. Ten tests were conducted to verify the validity of the model. To demonstrate the model's performance, we measure the difference between the expected value of the product life cycle state obtained by the model of this work and the actual value of the observation as a percentage of the observed value. In the case of the iPhone, the product life cycle prediction Markov model proposed by this study showed 94.28% performance in predicting the iPhone's future product life cycle status.

Keywords : Product Lifecycle Prediction, Markov Process, iPhone, Global Sales, Apple

본 논문은 동아대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

*Corresponding Author : Jaewook Yoo(Dong-A Univ.)

email: jyoo@dau.ac.kr

Received August 6, 2021

Revised September 16, 2021

Accepted October 1, 2021

Published October 31, 2021

1. 서론

기업의 다세대 제품군 전략 (multiple-generation product lines strategy)은 오늘날 시장의 빠른 변화와 기술 중심의 시장 환경에 유리한 전략으로 인식되고 있다. 대표적인 사례로 애플은 세계의 다세대 제품군인 아이폰, 아이패드, 아이팟의 큰 성공으로 세계 최고의 수익과 가치를 지닌 기업으로 성장하였다[1].

다세대 제품군 전략 하에서 기업은 1세대 제품을 시장에 출시하고 그 이후로 순차적으로 차세대 제품들을 출시한다. 제품의 핵심 기능은 그대로 유지하면서 그 밖의 기술, 특성, 디자인, 편리함 등을 업데이트해 나간다. 기업은 각 세대의 제품수명기간 동안 제품상태를 예측하고 이윤을 주는 적절한 액션을 취한다.

오늘날 아이폰과 아이패드와 같은 IT 제품은 이미 시장이 포화되어 있어서 고객이 선택할 수 있는 제품이 다양하고 이로 인하여 고객들이 원하는 제품 수준은 매우 높아졌고 기업은 이러한 고객들의 요구사항에 맞게 제품 수준을 최 첨단화하고 있다. 이와 같은 시장 환경은 IT 제품의 수명주기를 현저히 단축시킬 뿐만 아니라 한 업체가 개발한 두개 또는 세 개 세대 이상의 제품이 출시 시점은 다르더라도 같은 시장 세그먼트에서 상당 기간 동안 겹쳐서 시장에 상존하는 상황이 빈번히 발생하고 있다. 이와 같은 시장상황은 기업이 제품수명주기 예측을 더욱 어렵게 하여 기업의 제품군 전략 수행을 힘들게 하고 있다.

기존의 제품생명주기를 고려한 다세대 제품군 전략에 관한 몇 개의 논문 [2-4]을 살펴보면 Stochastic Dynamic Programming(이하, SDP라 칭함)을 기반으로 하여 제품생명주기를 모델링하고 제품생명주기의 각 단계에서 실행해야 할 전략을 결정하는 연구를 수행하였다. SDP가 주는 최적해의 정확도를 높이기 위해서는 SDP의 구성요소인 전이확률 (transient probability)값이 정확해야 한다. 그러나, 이들 대부분의 연구에서는 전이확률 값이 주어져 있다고 가정하거나 이를 구하는 과정에 대한 설명이 거의 없다.

또한, 한 기업의 여러 세대 제품이 같은 시장 세그먼트에서 상당 기간 동안 겹쳐서 시장에 상존하는 상황인데 단지 한세대 제품만이 시장에 존재하거나 단지 두 세대 제품만이 시장에 상존한다는 가정 하에서 SDP 모델을 적용하여 제품생명주기를 예측하고 전략을 결정하였다. 이는 SDP 모델이 실제 시장상황을 제대로 반영하지 못하여 잘못된 의사결정을 하게 할 수 있다.

이와 같은 기존 연구의 한계점을 해결하고자 본 연구에서는 위에서 언급된 한 기업의 여러세대 제품군이 한 시장에 상존하는 시장환경에서 제품수명주기의 단계를 결정하는 기준을 수립하고 전이확률을 구하는 체계적인 과정을 설명한다. 또한, 이를 확대하여 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기를 예측하는 절차를 제시하고 이 절차를 아이폰 사례에 적용해 보고 시사점들을 토론한다.

이 후로 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서는 선행연구를 고찰하고, 제 3장에서는 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 모델링을 설명하고 제 4장에서는 아이폰을 사례로 사례연구를 수행한다. 제 5장에서는 본 연구를 요약하고 연구방향에 대해서 언급한다.

2. 선행연구의 고찰

본 장에서는 본 논문의 연구 분야와 관련된 3개 분야에 대한 선행연구를 고찰한다. 3개 분야는 제품생명주기를 고려한 다세대 제품군 전략 수립을 위한 계량적 모형에 관한 연구, 다세대 제품의 생명주기 예측에 관한 연구, 그리고 제품생명주기에 마코프 프로세스를 이용한 연구들이다.

2.1 제품생명주기를 고려한 제품군 전략 수립을 위한 계량적 모형에 관한 연구

제품생명주기를 고려한 제품군 전략 수립에 관한 대부분의 연구에서는 각 논문에서 정의한 문제를 풀기 위하여 SDP 기법을 활용하여 해를 구하였다. 그러나, SDP의 최적해가 실제 사례에 적용되기 위해서는 SDP의 구성요소인 전이확률을 실 사례의 데이터를 이용하여 구하여 적용해야 한다. 그러나 대부분의 논문에서는 전이확률을 구하는 과정에 대한 언급이 없다[2-4].

이들 연구들을 살펴보면, Lin과 Okudan-Kremer (2014)은 그들의 논문에서 다세대 제품군에 대한 계량적 모델들의 선행연구를 크게 두가지로 분류할 수 있다고 주장하였다. 그 두 가지는 Behavioral Model과 Dynamic Competition Model인데, Behavioral Model은 다세대 제품군의 움직임(behavior)을 모의실험하고 해석하는 것을 수행하는 연구이고, Dynamic Competition Model은 시장의 경쟁환경을 시나리오 형태로 모델에 반영하고 마케팅 전략을 수립하는 것에 관한 연구라고 정의하였고 관련된 선행연구들을 고찰하였다. 또한, Lin과 Okudan-Kremer는 그들의 연구에서 한 개의 시장 세

그먼트에 한 기업의 두 개 세대 제품이 상존하는 환경에서 다세대 제품군을 위한 전략적 의사결정에 관한 연구를 수행하였다. 그들은 문제를 풀기 위하여 Daynomic State Variable Model을 수립하여 SDP 기법을 활용하였고 애플의 아이폰을 사례 연구로 수행하였다. 그러나 SDP의 구성요소인 전이확률을 구하는 것에 대한 설명이 없다[2].

Hu와 Bidanda(2009)는 지속가능한 제품생명주기의 사결정 시스템을 모델링하는 연구를 수행하였다. 그들은 Markov Decision Process를 기반으로 한 제품생명주기 진화 시스템을 수립하였다. 사례 연구로 임의로 디지털 카메라 시장을 선정하여 문제를 만들고 그들의 모델을 적용하여 사례연구를 수행하였다. 그들의 사례에서 사용된 전이확률들은 주어졌다고 가정하였다[3].

Seifert, Tancrez, Bicer(2016)는 제품생명주기를 고려한 제품포트폴리오 관리 (product portfolio management)에 관한 연구를 수행하였다. 그들은 예산의 제약이 있는 Markov Decision Process를 수립하고 포트폴리오를 구성하고 있는 제품들에 따라 운영적 측면과 재정적 측면의 실행을 함께 고려한 최적의 의사결정을 찾는 연구를 수행하였다. 그들의 사례에서도 전이확률을 구하는 것에 대한 설명을 찾아 볼 수 없다[4].

2.2 다세대 제품의 생명주기 예측에 관한 선행연구

제품수명주기를 예측하는 모델이나 방법론에 관한 연구를 보면 한 세대 제품의 수명주기를 예측하는 것에 중점을 두고 있다. 예를 들면, Solomon, Sandborn, and Pecht(2000)은 전자 부품의 수명주기단계와 단종까지 몇 년 걸리는 지를 예측하였다. 그들의 연구에서 사례로 가우스 분포에 맞춘 커브를 이용하여 16 메가 DRAM 판매량을 예측하였다[5]. Tsaur(2002)는 AHP, 트렌드 분석, 퍼지 회귀분석을 이용한 혼합예측모델을 수립하여 제품수명주기의 다음단계의 판매량을 예측하였다[6]. Chang(2002)은 제품수명주기의 단계들을 예측하기 위하여 퍼지회귀분석을 이용하였다[7].

다세대 제품의 수명주기 예측에 관한 연구들은 DRAM (Dynamic Random Access Memory)과 SRAM(Static Random Access Memory), 개인용 컴퓨터를 대상으로 수행되었다[8,9]. Huang and Tzeng(2008)은 2단계로 구성된 fuzzy piecewise 회귀분석을 이용하여 다세대 제품들의 수명주기를 추정하고 이를 근거로 각 세대 제품의 연 출하량을 예측하는 모델을 개발하였다[10]. Rehar, Ogrizek, Leber, Pismanik, and Buchmeister(2017)은

제품수명주기와 판매량에 영향을 미치는 사회적 경제적 매개변수의 변화를 고려하여 오븐의 제품수명주기를 사례로 판매량을 예측하는 시뮬레이션 모델을 개발하였다[11].

최근에는 Hu, Acimovic, Erize, Thomas, and Van Mieghem, (2019)은 곧 출시할 신제품의 고객 주문량을 예측하는 기법을 제시하였다[12]. 그들은 신제품과 유사한 제품들의 과거 고객 주문 데이터를 활용하여 제품수명주기 곡선을 그리고, 유사한 제품들의 수명주기 곡선들을 제품특성 등을 기준으로 군집하여 신제품의 고객 주문량을 가장 잘 나타내는 곡선을 이용하여 고객 주문량의 예측치를 구하였다[12]. Tsang, Wong, Huang, Wu, Kuo, and Choy(2020)은 전기자동차 산업을 발전시키는 데 가장 큰 이슈인 배터리 충전관련 하여 인프라 구축과 배터리 유지보수를 언급하였고 이를 해결하기 위하여 퍼지 기반 다중 응답 다구찌 방법과 신경 퍼지 추론 시스템을 통합하여 플러그인 전기차 배터리 팩 표준화를 효과적으로 관리하기 위한 배터리 수명 주기 예측 절차를 제시하였다[13].

다세대 제품의 생명주기를 예측하는 선행논문에서의 한계점은 대부분이 생명주기 곡선을 예측하는 부분에 집중되어 있고 제품생명주기를 이루고 있는 단계를 결정하는 기준에 대한 설명이 보이지 않는다.

2.3 마코프 프로세스를 활용한 제품생명주기에 관한 선행연구

마코프 프로세스를 이용한 제품생명주기 관련한 연구는 극히 적다. Afrinald(2020)가 마코프 체인을 적용하여 제품생명주기를 모델링하였는데, 제품생명주기에서 그 제품의 움직임 (behavior)에 관한 중요 정보를 예측하였다. 그 정보들은 생명주기를 이루고 있는 각 단계에 제품이 방문하는 횟수와 제품의 기대 수량, 각 단계에 머무는 평균 시간, 폐기되는 제품의 기대 수량, 제품에 의해 발생하는 환경영향 등 이었다. 모델의 타당성을 플라스틱의 생명주기를 분석하여 수행하였다[14].

3. 제품수명주기 예측 모델링

본 장에서는 서론에서 언급된 제품수명주기가 짧고 한 기업에서 개발한 여러세대 제품군이 한 시장에 공존하는 시장환경에서 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기를 예측하는 절차를 제시한다. 3.1절에서는 제품수명주기를

이루고 있는 다섯 단계인 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기, 단종기를 결정하는 기준을 제시한다. 3.2절에서는 제품수명주기를 예측하기 위한 마코프 프로세스의 프레임워크를 설명하고 3.3절에서는 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측 모델링 절차를 단계별로 설명한다.

3.1 제품수명주기의 단계 결정 기준

제품수명주기는 도입기(introduction phase), 성장기(growth phase), 성숙기(maturity phase), 쇠퇴기(decline phase), 단종기(end-of-life)로 다섯 개의 단계로 이루어져 있다. 제품수명주기 예측모델을 다룬 몇몇 논문[7,15-18]에서 단계를 결정하는 기준을 제시하고 있으나 이 기준들은 각각 특정 제품들에 대한 기준들로써 본 연구에서 다루고 있는 아이폰과 같은 제품수명주기가 짧고 한 기업의 여러 세대의 모델들이 동시에 시장에 상존하는 제품에 적합하지 않다. 그러므로, 본 논문의 제 4장에서 아이폰의 역대 글로벌 판매량 (2007년 3분기부터 2018년 3분기까지의 아이폰의 분기별 글로벌 판매량)을 분석하고 세대별 모델의 역대 판매량을 추정하여 각 세대 제품의 제품수명주기 단계를 결정하는 기준을 Table 1과 같이 수립하였다.

3.2 마코프 프로세스 프레임워크(Markov Process Framework)

마코프 프로세스의 개념은 미래의 어떤 상태의 발생은 과거의 상태와 상관없이 바로 그 이전의 상태에만 좌우된다는 것이다. 식(1)이 이를 나타낸다.

$$P(X_{t+1} = i_{t+1} | X_t = i_t, X_{t-1} = i_{t-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0) = P(X_{t+1} = i_{t+1} | X_t = i_t) \quad (1)$$

식 (1)은 상태 i 에서 상태 j 로 전이(transition)하는 확률 P_{ij} 로 표기할 수 있으며 상태들 간의 모든 전이확률(transition probability)은 식(2)와 같이 행렬 P 로 정리될 수 있다.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1J} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2J} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ P_{J1} & P_{J2} & \dots & P_{JJ} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, $P_{ij} \geq 0$, $\sum_j P_{ij} = 1$ 이다. n 번 전이주기(transition period) 이후의 전이확률행렬 P_n 은 전이확률행렬 P 의 n 차승을 계산하여 구할 수 있다 (식(3) 참조).

$$P_n = P^n \quad (3)$$

마코프 체인의 전이확률을 구하는 방법으로는 percentage prediction[19], regression-based optimization[20], poisson distribution[21], negative binomial model[22] 등이 있다.

본 연구에서는 모든 세대의 제품들의 상태가 시간 t 에서 $t+1$ 로 이동하여 t 에 있을 때 상태인 i 로 남아 있거나 다음 상태 j 로 전이하게 됨으로, percentage prediction 방법을 이용하여 전이확률을 계산하고 식(2)와 같이 전이확률행렬 P 를 수립한다. 상태 i 에서 상태 j 로의 전이확률 P_{ij} 는 식(4)를 이용하여 구한다.

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum_j N_{ij}} \quad (4)$$

Table 1. Criteria for determining product life cycle phases

State	Phase	Criteria
1	Introduction Phase	The introduction phase starts from the first quarter with sales performance.
2	Growth Phase	The growth phase begins with the first quarter in which the sales growth rate for two consecutive quarters following the introduction phase increases.
3	Maturity Phase	The maturity phase begins with the first quarter in which the sales growth rate for two consecutive quarters following the growth phase decreases.
4	Decline Phase	The decline phase begins with the first quarter in which the sales growth rate for two consecutive quarters following the maturity phase is steadily declining.
5	End-of-Life	The quarter corresponding to the date of discontinuation shall be deemed discontinued.

여기서, N_{ij} 는 상태 i 에서 상태 j 로 전이가 발생한 사건의 개수이다.

전이확률행렬을 구한 후에 마코프 프로세스를 이용하여 미래 상태를 예측할 수 있다. 현재 상태는 초기상태벡터 a_0 로 표현될 수 있다. n 번의 전이주기를 거친 이후 전이되는 상태벡터 a_n 은 초기상태벡터 a_0 와 n 번의 전이주기 이 후의 전이확률행렬 P_n 의 곱으로 구할 수 있다 (식(5) 참조).

$$a_n = a_0 \times P_n \quad (5)$$

식(5)의 a_n 을 이용하여 상태의 기대값 EV(Expected Value)을 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$EV = \sum_{j=1}^J [j \times a_n(j)] \quad (6)$$

3.3 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측 모델링

본 절에서는 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델링을 다음과 같은 단계로 제안한다.

단계 1: 예측을 원하는 시기인 전이주기 n 을 정한다.

단계 2: 전이확률행렬 P 를 구한다.

단계 2.1: 상태 i 에서 상태 j 로 전이가 발생한 사건의 개수를 구한다. 이해를 돕기 위하여 본 논문 4.2절의 Table 5의 열 개 세대 아이폰들 중 아이폰 1~5세대의 수명주기 상태 데이터를 이용하여 Table 2를 구할 수 있다.

Table 2. Transition status of the 1st to 5th generations of the iPhone on the Table 5

From state i	To state j				
	1	2	3	4	5
1	0	5			
2		4	5		
3			3	5	
4				22	5
5					0

단계 2.2: percentage prediction method를 이용하여 전이확률을 계산한다. 예를 들어, Table 2로부터 P_{22} 를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$P_{22} = \frac{N_{22}}{N_{22} + N_{23}} = \frac{4}{4 + 5} = \frac{4}{9} = 0.444.$$

단계 2.3: 단계 2.2에서 구할 수 있는 모든 전이확률들을 구하고 아래와 같이 전이확률행렬 P 로 정리한다.

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.444 & 0.556 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.375 & 0.625 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.815 & 0.185 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

단계 3: 특정 제품의 제품수명주기에 있어서 미래 상태를 식(5)와 식(6)을 이용하여 구한다.

4. 아이폰 사례 연구

본 장에서는 아이폰의 세대별 모델의 역대 판매량을 이용하여 본 연구에서 제시한 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델을 적용하고 타당성을 검증한다.

2007년 3분기부터 2018년 3분기까지의 총 45개 분기의 14개 세대의 아이폰들의 분기별 글로벌 판매량을 위키백과에서 얻었다[23]. 이 들 판매량은 분기별 판매량만 알 수 있고, 세대제품별 판매량은 알 수 없었다. 그 이유는 애플사가 각 세대제품의 판매량을 별도로 발표하지 않고, 한 분기에 몇 개 세대제품들이 동시에 시장에 있던 지 상관하지 않고 판매량을 통합하여 발표하였기 때문이다. 본 연구의 마코프 프로세스를 활용한 제품수명주기 예측모델을 적용하기 위해서는 세대제품별 판매량을 알아야 하므로 각 세대제품별 분기별 판매량을 추정하였고 각 세대제품별로 본 논문 3.1절의 Table 1 과 같이 제품수명주기단계를 결정하였다.

전체 제품수명주기단계 데이터 중에서 2007년 3분기에서부터 2014년 3분기까지(총 29개 분기)의 아이폰 1세대에서 5세대까지 다섯 세대 아이폰들의 제품수명주기 단계 데이터를 사용하여 전이확률행렬을 구하였고, 아이폰 6세대에서 10세대까지의 제품수명주기단계 데이터인 2012년 3분기에서부터 2018년 3분기까지 (총 25개 분기)의 데이터는 관측값(실제값)으로 본 연구의 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델이 주는 기대값의 타당성을 검증하는 데 사용하였다.

Table 3. Sales statistics for iPhone generations

Generation (Model)	Gen 1 (iPhone 2G)	Gen 2 (iPhone 3G)	Gen 3 (iPhone 3GS)	Gen 4 (iPhone 4)	Gen 5 (iPhone 4S)	Gen 6 (iPhone 5)	Gen 7 (iPhone 5C)	Gen 8 (iPhone 5S)	Gen 9 (iPhone 6)	Gen 10 (iPhone 6S)	Gen 11 (iPhone SE)	Gen 12 (iPhone 7)	Gen 13 (iPhone 8)	Gen 14 (iPhone X)
Release Date	2007-06-29	2008-07-11	2009-06-19	2010-06-24	2011-10-14	2012-09-21	2013-09-20	2013-09-20	2014-09-09	2015-09-25	2016-03-31	2016-09-16	2017-09-22	2017-11-03
Discontinued Date	2008-06-09	2010-08-09	2012-09-12	2013-09-10	2014-09-09	2013-09-10	2015-09-09	2016-03-21	2016-09-07	2018-09-12	2018-09-12	2019-09-10	2020-04-15	2018-09-12

Quarter	Sales (million)
2007 Q3	0.27
2007 Q4	1.12
2008 Q1	2.32
2008 Q2	1.70
2008 Q3	0.72
2008 Q4	6.89
2009 Q1	4.36
2009 Q2	3.79
2009 Q3	5.21
2009 Q4	7.37
2010 Q1	8.74
2010 Q2	8.75
2010 Q3	8.40
2010 Q4	14.10
2011 Q1	16.24
2011 Q2	18.65
2011 Q3	20.34
2011 Q4	17.07
2012 Q1	37.04
2012 Q2	35.06
2012 Q3	26.03
2012 Q4	26.91
2013 Q1	47.79
2013 Q2	37.43
2013 Q3	31.24
2013 Q4	33.80
2014 Q1	51.03
2014 Q2	43.72
2014 Q3	35.20
2014 Q4	39.27
2015 Q1	74.47
2015 Q2	61.17
2015 Q3	47.53
2015 Q4	48.05
2016 Q1	74.78
2016 Q2	51.19
2016 Q3	40.40
2016 Q4	45.51
2017 Q1	78.29
2017 Q2	50.76
2017 Q3	41.03
2017 Q4	46.68
2018 Q1	77.30
2018 Q2	52.20
2018 Q3	41.30

4.1 데이터 수집 및 분석

Table 3은 위키백과에서 얻은 데이터인 2007년 3분기부터 2018년 3분기까지의 총 45개 분기의 14개 세대의 아이폰 분기별 글로벌 판매량을 바탕으로 작성하였다. 막대그래프는 각 세대 제품의 출시일(release date)에서부터 단종일(discontinued date)까지의 기간을 보여준다. 막대그래프를 통해서 각 분기에 몇 개의 세대 아이폰들이 시장에 동시에 출시되어 있는지 알 수 있다. 대부분의 분기에서 동시에 2~5개의 세대 제품들이 출시되어 있는 것을 볼 수 있다. 그런 분기에서는 각각의 세대 제품 별로 판매량을 알 수가 없다. 앞서 언급하였듯이 이는 애플사에서 각 세대 제품의 판매량을 개별적으로 발표하지 않고, 통합해서 분기별로 판매량을 발표하였기 때문이다.

본 연구의 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델을 적용하기 위해서 아래와 같은 방법으로 분기별로 각 세대 제품의 판매량을 추정하였다. Table 3을 보면 한 분기에는 다섯 개 세대 제품까지 시장에 상존하므로, 기존 세대 제품을 m 차 세대 제품, 차기 세대 제품을 $m+1$ 차 세대 제품, 다음 세대 제품을 $m+2$ 차, $m+3$ 차, $m+4$ 차 세대 제품이라고 하자. 한 분기에 세대제품이 한 개 세대에서 다섯 개 세대제품이 시장에 동시에 존재하는 다섯 가지 경우로 구분해서 설명한다.

- i) 한 분기에 제품이 하나만 존재하는 경우:
 - 해당 분기의 판매량이 그 분기에 시장에 있는 제품의 판매량이 된다.
- ii) 한 분기에 세대제품이 두개 있는 경우 (세대제품 m , 세대제품 $m+1$):
 - 세대제품 $m+1$ 이 출시되는 분기 q 에 분기 q 의 전체 판매량의 60%를 세대제품 $m+1$ 에 할당하고 세대제품 m 의 판매량은 분기 q 의 전체 판매량 40%를 할당한다. 한편, 세대제품 $m+1$ 이 출시되는 달이 분기 $q-1$ 의 마지막 달인 경우에는 분기 $q-1$ 의 전체 판매량의 30%를 제품 $m+1$ 에 할당하고 나머지 70%를 세대제품 m 에 할당한다. 분기 q 에 가서 세대제품 $m+1$ 의 판매량으로 분기 q 의 전체 판매량의 60%를 할당한다. 이와 같은 조치는 제품이 출시된 달이 그 달이 속한 분기의 마지막 달인 경우에 해당 분기의 전체 판매량의 60%가 아닌 30%를 그 세대제품의 판매량으로 할당함으로써 보다 합리적으로 판매량을 추정하기 위함이다.

- 세대제품 $m+1$ 이 출시된 다음 분기 $q+1$ 에서, 세대제품 $m+1$ 의 판매량은 분기 $q+1$ 의 총 판매량에서 분기 $q+1$ 에서 세대제품 m 의 판매량을 뺀다. 이때, 분기 $q+1$ 에서 세대제품 m 의 판매량은 분기 q 의 세대제품 m 의 판매량의 80%를 할당한 것으로 한다.
- iii) 한 분기에 세 개 세대제품이 있는 경우 (세대제품 m , 세대제품 $m+1$, 세대제품 $m+2$):
 - 세대제품 $m+2$ 가 출시된 분기 q 에 분기 q 의 총 판매량의 60%를 세대제품 $m+2$ 에 할당한다. 분기 q 에서 세대제품 m 의 판매량은 분기 $q-1$ 에서 세대제품 m 판매량의 50%를 할당한다. 분기 q 에서 세대제품 $m+1$ 의 판매량은 분기 q 의 총 판매량에서 세대제품 m 의 판매량과 세대제품 $m+2$ 의 판매량을 뺀 것으로 한다. 한편, 세대제품 $m+2$ 가 출시되는 달이 해당 분기의 마지막 달인 경우에는 그 분기 총 판매량의 30%를 세대제품 $m+2$ 의 판매량으로 할당한다. 세대제품 m 과 $m+1$ 의 판매량은 위와 같은 로직을 따른다.
 - 세대제품 $m+2$ 가 출시된 다음 분기 $q+1$ 에서 세대제품 m 의 판매량은 분기 q 의 세대제품 m 판매량의 50%를 할당한다. 분기 $q+1$ 에서 세대제품 $m+1$ 의 판매량은 분기 q 의 세대제품 $m+1$ 판매량의 80%를 할당한다. 분기 $q+1$ 에서 세대제품 $m+2$ 판매량은 분기 $q+1$ 의 총 판매량에서 분기 $q+1$ 에서 세대제품 m 판매량과 세대제품 $m+1$ 판매량을 뺀 것으로 한다.
- iv) 한 분기에 네 개 세대제품이 있는 경우 (세대제품 m , 세대제품 $m+1$, 세대제품 $m+2$, 세대제품 $m+3$):
 - 세대제품 $m+3$ 이 출시된 분기 q 에 분기 q 의 총 판매량의 60%를 세대제품 $m+3$ 에 할당한다. 분기 q 에서 세대제품 m 과 $m+1$ 의 판매량은 분기 $q-1$ 에서 세대제품 m 과 $m+1$ 판매량의 50%씩을 각각 할당한다. 분기 q 에서 세대제품 $m+2$ 의 판매량은 분기 q 의 총 판매량에서 세대제품 m , $m+1$, $m+3$ 의 판매량의 합을 뺀 것으로 한다. 한편, 세대제품 $m+3$ 이 출시되는 달이 해당 분기의 마지막 달인 경우에는 그 분기 총 판매량의 30%를 세대제품 $m+3$ 의 판매량으로 할당한다. 세대제품 m , $m+1$, $m+2$ 의 판매량은 위와 같은 로직을 따른다.
 - 세대제품 $m+3$ 이 출시된 다음 분기 $q+1$ 에서 세대제품 m 과 $m+1$ 의 판매량은 분기 q 의 세대제품 m 과 $m+1$ 판매량의 50%를 할당한다. 분기 $q+1$ 에서

Table 4. iPhone sales by generation

Generation (Model)	Gen 1 (iPhone 2G)	Gen 2 (iPhone 3G)	Gen 3 (iPhone 3GS)	Gen 4 (iPhone 4)	Gen 5 (iPhone 4S)	Gen 6 (iPhone 5)	Gen 7 (iPhone 5C)	Gen 8 (iPhone 5S)	Gen 9 (iPhone 6)	Gen 10 (iPhone 6S)	Gen 11 (iPhone SE)	Gen 12 (iPhone 7)	Gen 13 (iPhone 8)	Gen 14 (iPhone X)
Release Date	2007-06-29	2008-07-11	2009-06-19	2010-06-24	2011-10-14	2012-09-21	2013-09-20	2013-09-20	2014-09-09	2015-09-25	2016-03-31	2016-09-16	2017-09-22	2017-11-03
Discontinued Date	2008-06-09	2010-08-09	2012-09-12	2013-09-10	2014-09-09	2013-09-10	2015-09-09	2016-03-21	2016-09-07	2018-09-12	2018-09-12	2019-09-10	2020-04-15	2018-09-12
Quarter	Sales (million)													
2007 Q3	0.27													
2007 Q4	1.12	1.12												
2008 Q1	2.32	2.32												
2008 Q2	1.70	1.70												
2008 Q3	0.72	0.288	0.432											
2008 Q4	6.89	6.89												
2009 Q1	4.36	4.36												
2009 Q2	3.79	2.653	1.137											
2009 Q3	5.21	2.084	3.126											
2009 Q4	7.37	1.667	5.703											
2010 Q1	8.74	1.334	7.406											
2010 Q2	8.75	0.667	5.458	2.625										
2010 Q3	8.40	0.333	3.027	5.040										
2010 Q4	14.10		2.421	11.679										
2011 Q1	16.24		1.937	14.303										
2011 Q2	18.65		1.550	17.100										
2011 Q3	20.34		1.240	19.100										
2011 Q4	17.07		0.620	6.208	10.242									
2012 Q1	37.04		0.310	4.966	31.764									
2012 Q2	35.06		0.155	3.973	30.932									
2012 Q3	26.03		0.077	1.987	16.157	7.809								
2012 Q4	26.91			0.993	9.771	16.146								
2013 Q1	47.79			0.497	7.817	39.477								
2013 Q2	37.43			0.248	6.253	30.928								
2013 Q3	31.24			0.124	3.127	18.617	4.686	4.686						
2013 Q4	33.80				1.563	16.118	16.118							
2014 Q1	51.03				0.782	25.124	25.124							
2014 Q2	43.72				0.391	21.665	21.665							
2014 Q3	35.20				0.195	12.222	12.222	10.560						
2014 Q4	39.27					6.111	9.597	23.562						
2015 Q1	74.47					3.055	7.677	63.737						
2015 Q2	61.17					1.528	6.142	53.500						
2015 Q3	47.53					0.764	4.914	27.594	14.259					
2015 Q4	48.05						2.457	16.763	28.830					
2016 Q1	74.78						1.228	13.411	60.141					
2016 Q2	51.19							6.705	13.771	30.714				
2016 Q3	40.40							3.353	11.017	13.911	12.120			
2016 Q4	45.51								5.508	12.696	27.306			
2017 Q1	78.29								2.754	10.157	65.379			
2017 Q2	50.76								1.377	8.125	41.258			
2017 Q3	41.03								0.689	6.500	33.841			
2017 Q4	46.68								0.344	3.250	15.078	28.008		
2018 Q1	77.30								0.172	1.625	7.539	21.584	46.380	
2018 Q2	52.20								0.087	0.813	3.769	17.267	30.265	
2018 Q3	41.30								0.043	0.406	1.885	13.814	25.152	

세대제품 $m+2$ 의 판매량은 분기 q 의 세대제품 $m+2$ 판매량의 80%를 할당한다. 분기 $q+1$ 에서 세대제품 $m+3$ 판매량은 분기 $q+1$ 의 총 판매량에서 분기 $q+1$ 에서 세대제품 $m, m+1, m+2$ 판매량의 합을 뺀 것으로 한다.

- v) 한 분기에 다섯 개 세대제품이 있는 경우 (세대제품 $m, m+1, m+2, m+3, m+4$):
 - 세대제품 $m+4$ 가 출시된 분기 q 에 분기 q 의 총 판매량의 60%를 세대제품 $m+4$ 에 할당한다. 분기 q 에서 세대제품 $m, m+1, m+2$ 의 판매량은 분기 $q-1$ 에서 세대제품 $m, m+1, m+2$ 판매량의 50%씩을 각각 할당한다. 분기 q 에서 세대제품 $m+3$ 의 판매량은 분기 q 의 총 판매량에서 세대제품 $m, m+1, m+2, m+4$ 의 판매량의 합을 뺀 것으로 한다. 한편, 세대제품 $m+4$ 가 출시되는 달이 해당 분기의 마지막 달인 경우에는 그 분기 총 판매량의 30%를 세대제품 $m+4$ 의 판매량으로 할당한다. 세대제품 $m, m+1, m+2, m+3$ 의 판매량은 위와 같은 로직을 따른다.
 - 세대제품 $m+4$ 가 출시된 다음 분기 $q+1$ 에서 세대제품 $m, m+1, m+2$ 의 판매량은 분기 q 의 세대제품 $m, m+1, m+2$ 판매량의 50%를 각각 할당한다. 분기 $q+1$ 에서 세대제품 $m+3$ 의 판매량은 분기 q 의 세대제품 $m+3$ 판매량의 80%를 할당한다. 분기 $q+1$ 에서 세대제품 $m+4$ 판매량은 분기 $q+1$ 의 총 판매량에서 분기 $q+1$ 에서 세대제품 $m, m+1, m+2, m+3$ 판매량의 합을 뺀 것으로 한다.

위의 방법으로 산출된 2007년 3분기에서부터 2018년 3분기까지(총 45개 분기) 분기별로 아이폰 1세대에서 14세대까지 열 네 개 세대의 아이폰 판매량이 Table 4에 정리되어 있다.

Table 4의 데이터를 본 논문 3.1절의 Table 1 제품 수명주기단계의 결정기준을 적용하여 Table 5와 같이 아이폰 1세대~10세대의 제품수명주기 상태를 결정하였다.

4.2 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측 모델의 적용 및 실험

아이폰 1세대에서부터 5세대까지의 제품수명주기상태를 활용하여 전이확률을 구하고 미래 상태들의 기대값들이 마코프 프로세스에 의하여 계산된다.

아이폰 6세대에서 10세대까지의 2012년 3분기에서

부터 2018년 3분기까지 (총 25개 분기)의 제품수명주기 상태 데이터를 본 연구에서 제시하는 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델의 타당성을 검증하기 위한 관측값(실제값)으로 사용한다.

애플사의 아이폰 세대제품들의 제품수명주기 데이터를 활용하여 본 연구의 모델의 타당성을 검증하기 위하여 10개의 테스트가 수행되었다. 테스트 케이스마다 세대제품(generation product), 현재상태(current state), 전이주기(transition time step)을 무작위로 정하였다. 이 들 값들을 정하기 위하여 엑셀을 활용하여 난수를 발생하였다. 상태의 예측 대상인 세대제품은 아이폰 6세대에서부터 10세대 이므로 난수의 발생 범위를 6~10중에서 정수가 발생하도록 하였고, 현재상태와 전이주기에 대한 난수 범위는 아이폰의 수명이 13개 분기까지 인 경우가 있어서 1~13까지로 정하여 그 범위내의 정수가 난수로 각각 발생하도록 하였다.

세대제품, 현재상태, 전이주기의 난수 조합 중에서 실행 가능한 경우를 10개 선택하여 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델을 적용하여 기대값을 구하였다. Table 6은 실험결과를 정리한 표인데 이해를 돕기 위하여 첫번째 테스트 케이스(test#1)를 가지고 다음과 같이 설명한다.

- 현재상태가 3(2014 Q1)인 8 세대 아이폰(iPhone 5S)이 6분기 후 상태를 예측하려고 한다. 현재상태 3은 초기상태벡터 $a_0 = [00100]$ 로 나타낼 수 있고, 6분기는 전이주기 값이 6임을 의미한다.- 전이주기 6 이후 8 세대제품(iPhone 5S)이 도달할 제품수명주기단계의 상태벡터 a_6 은 식(5)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 a_6 &= a_0 \times P_6 \\
 &= [00100] \times \begin{bmatrix} 0.00173 & 0.0794 & 0.6158 & 0.2875 \\ 0.0077 & 0.0394 & 0.5514 & 0.4015 \\ 0 & 0 & 0.0028 & 0.4119 & 0.5853 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2926 & 0.7074 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= [0 \quad 0 \quad 0.0028 \quad 0.4119 \quad 0.5853]
 \end{aligned}$$

여기서, $P_6 = P^6$ 을 의미하며 P 는 3.3절에서 구한 전이 확률행렬이다.

- 전이주기 6분기(2015 Q3)에서 8세대제품의 제품 수명주기 상태의 기대값은 4.5825임을 식(6)을 이용하여 아래와 같이 구할 수 있다.

Table 5. Lifecycle status of iPhone 1st to 10th generation

Period	Quater	Gen 1 (iPhone 2G)	Gen 2 (iPhone 3G)	Gen 3 (iPhone 3GS)	Gen 4 (iPhone 4)	Gen 5 (iPhone 4S)	Gen 6 (iPhone 5)	Gen 7 (iPhone 5C)	Gen 8 (iPhone 5S)	Gen 9 (iPhone 6)	Gen 10 (iPhone 6S)
1	2007 Q3	1									
2	2007 Q4	2									
3	2008 Q1	3									
4	2008 Q2	4									
5	2008 Q3	5	1								
6	2008 Q4		2								
7	2009 Q1		3								
8	2009 Q2		3	1							
9	2009 Q3		4	2							
10	2009 Q4		4	2							
11	2010 Q1		4	3							
12	2010 Q2		4	3	1						
13	2010 Q3		5	4	2						
14	2010 Q4			4	2						
15	2011 Q1			4	2						
16	2011 Q2			4	2						
17	2011 Q3			4	3						
18	2011 Q4			4	4	1					
19	2012 Q1			4	4	2					
20	2012 Q2			5	4	3					
21	2012 Q3				4	3	1				
22	2012 Q4				4	4	2				
23	2013 Q1				4	4	3				
24	2013 Q2				4	4	4				
25	2013 Q3				5	4	5	1	1		
26	2013 Q4					4		2	2		
27	2014 Q1					4		3	3		
28	2014 Q2					4		3	3		
29	2014 Q3					5		4	3	1	
30	2014 Q4							4	4	1	
31	2015 Q1							4	4	2	
32	2015 Q2							4	4	3	
33	2015 Q3							5	4	3	1
34	2015 Q4								4	3	2
35	2016 Q1								5	4	3
36	2016 Q2									4	4
37	2016 Q3									5	4
38	2016 Q4										4
39	2017 Q1										4
40	2017 Q2										4
41	2017 Q3										4
42	2017 Q4										4
43	2018 Q1										4
44	2018 Q2										4
45	2018 Q3										5

$$\begin{aligned} \text{기대값 } EV &= (1 \times 0) + (2 \times 0) + (3 \times 0.0028) \\ &\quad + (4 \times 0.4119) + (5 \times 0.5853) \\ &= 4.5825 \end{aligned}$$

- 관측값의 측정은 8세대 아이폰이 2014 Q1 초에서 현재상태가 3인데 6분기 후인 2015 Q3 초에서 상태가 4가 되는 데 이 때 상태 4는 다섯 개의 상태 4 중 세 번째 끝과 네 번째 초에 해당되는 것이므로 비례식으로 풀 면 상태가 4.6으로 계산된다.

- Table 6의 마지막 필드인 차이(Distance)는 관측 값을 분모로 기대값과 관측값의 차이를 분자로 구한 백분율 값으로 첫번째 테스트의 차이 0.38%는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{|4.6 - 4.5825|}{4.6} \times 100(\%) = 0.38(\%)$$

Table 6의 마지막 필드인 차이의 10개 테스트의 전체 평균은 5.72%이다. 차이의 평균 5.72%를 초과하는 테스트 케이스는 테스트 # 2, 4, 5, 6 으로 총 네 개인데 이들을 분석해 보면 이 들 테스트 케이스의 세대 제품인 6, 7, 9세대 아이폰의 제품수명주기의 패턴이 8, 10세대 아이폰의 것보다 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델의 전이확률행렬을 수립하는 데 사용된 1~5세대 아이폰의 제품수명주기의 패턴과의 차이가 커서 발생한 것이라고 볼 수 있다.

그 차이를 보기 위해서 6, 7, 9세대 아이폰의 제품수명주기 상태 데이터를 이용하여 구한 전이확률행렬 P' 과 8, 10세대 아이폰의 제품수명주기 상태 데이터를 이용하

여 구한 전이확률행렬 P'' 을 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델의 전이확률행렬 P 와 각각 비교함으로써 확인할 수 있다.

식(4)를 이용하여 P' 과 P'' 는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$P' = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.625 & 0.375 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P'' = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.857 & 0.143 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

P' 의 $P'_{44} = 0.625$, $P'_{45} = 0.375$ 와 P'' 의 $P''_{44} = 0.857$, $P''_{45} = 0.143$ 를 제외하고 P' 과 P'' 를 구성하고 있는 그 밖의 전이확률들은 같음을 볼 수 있다. 그러므로 $P'_{44} = 0.625$, $P'_{45} = 0.375$ 와 $P''_{44} = 0.857$, $P''_{45} = 0.143$ 를 제품수명주기 예측모델의 전이확률행렬 P 의 $P_{44} = 0.815$, $P_{45} = 0.185$ 와 각각 비교해 보면 그 차이가 P_{44} , P_{45} 대비 P'_{44} , P'_{45} 는 -23.31%, +102.70%이고 P_{44} , P_{45} 대비 P''_{44} , P''_{45} 는 +5.15%, -22.71%로 P'_{44} , P'_{45} 가 P''_{44} , P''_{45} 보다 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 1~5세대 아이폰의 제품수명주기 패턴 대비 6, 7, 9세대 아이폰의 제품수명주기 패턴이 8, 10세대 아이폰의 것보다 차이가 크다는 것을 의미한다.

Table 6. Test results

Test #	Generation Product	Current State	Transition time step	Expected State	Observation State (Real State)	Distance(%)
1	8	3	6	4.5825	4.6	0.38
2	7	1	7	4.3467	4.75	8.49
3	8	1	3	3.1498	3.33	5.41
4	7	2	4	3.9375	4.25	7.35
5	9	1	8	4.4778	5	10.45
6	6	2	2	3.1498	4	21.26
7	9	2	4	3.9375	4	1.56
8	10	2	7	4.4778	4.55	1.59
9	10	3	4	4.3622	4.33	0.74
10	8	1	1	2	2	0

이와 같이, 본 실험을 통하여 제품수명주기의 상태를 예측하고자 하는 제품군의 제품수명주기 패턴과 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델의 전이확률행렬을 수립하는 데 활용된 역대 제품들의 제품수명주기 패턴과의 차이가 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델의 성능에 영향을 미친다는 것을 알았다. 본 실험인 아이폰 사례의 경우 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델은 미래 세대 아이폰의 제품수명주기 상태를 예측하는 성능이 94.28% (= 100% - 5.72%) 라고 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문은 제품 수명주기가 짧고 한 기업의 여러 세대 제품군이 한 시장에 공존하는 시장환경에서 제품수명주기를 예측할 수 있도록 제품수명주기 단계를 결정하는 기준과 마코프 프로세스를 활용한 제품수명주기를 예측하는 모델을 제시하였다. 또한, 애플의 아이폰 역대 판매량 데이터를 이용하여 모델을 설명하고 타당성을 보여주었다. 2007년 3분기에서부터 2018년 3분기까지의 총 45개 분기의 아이폰 판매량을 사용하였다. 이들 데이터를 본 연구에서 제시한 모델에 적용하기 위해서 각 세대 제품 별로 판매량을 추정하였고 판매량 행동을 분석하여 제품수명주기 단계의 상태를 결정하였다.

2007년 3분기에서부터 2014년 3분기까지(총 29개 분기)의 아이폰 1세대에서 5세대까지 다섯 개 세대의 데이터는 본 연구의 예측모델을 적용하여 미래 상태를 구하는 데 사용되었고, 아이폰 6세대에서 10세대까지의 데이터인 2012년 3분기에서부터 2018년 3분기까지 (총 25개 분기)의 데이터는 본 연구의 예측모델이 주는 기대값의 타당성을 검증하는데 관측값으로 이용되었다.

10개의 테스트가 모델의 타당성을 검증하기 위하여 수행되었다. 예측 모델의 성능을 측정하기 위하여 10개 테스트 각각 대하여 기대값과 관측값의 차이를 관측값에 대한 백분율로 구하였다. 이들 값들의 평균은 5.72% 였다. 평균 5.72%를 초과한 테스트 케이스를 분석해 본 결과, 이들 테스트 케이스의 세대제품들(6, 7, 9세대 아이폰)의 제품수명주기 패턴이 평균 5.72%를 초과하지 않은 테스트 케이스의 세대제품들(8, 10세대 아이폰)의 것보다 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델의 전이확률행렬을 구하는 데 활용된 세대제품들(1~5세대 아이폰)의 것에 비하여 차이가 크다는 것을 발견하였다.

즉, 제품수명주기의 상태를 예측하고자 하는 제품군의 제품수명주기 패턴과 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델의 전이확률행렬을 수립하는 데 활용된 역대 제품들의 제품수명주기 패턴과의 차이가 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델의 성능에 영향을 미친다는 것이다.

향후 연구로써 본 연구의 마코프 프로세스를 이용한 제품수명주기 예측모델을 반영하여 제품수명주기 관리 프로세스 상에서 단계별로 수행해야 할 전략에 대한 순차적 의사결정 모델을 수립하고 실제 시장 상황에 적용해 보는 연구가 매우 흥미로워 보인다. 제품수명주기를 예측할 미래세대에 대하여 일정한 전이확률을 적용하지 않고 매 세대마다 전이확률을 업데이트하고 적용하여 예측율을 제고하는 것에 대한 연구도 흥미 있어 보인다. 또한, 기술 트렌드 분석이나 기술의 성장 주기인 하이프 사이클(Hype cycle)을 추정하기 위하여 마코프 프로세스를 적용해 보는 것도 향후 연구로써 의미 있어 보인다

References

- [1] E. Ofek, M. Sarvary, "R&D, marketing, and the success of next-generation products", *Marketing Science*, Vol.22, No.3, pp.355-370, Aug. 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1287/mksc.22.3.355.17742>
- [2] C.-Y. Lin, Gül E. Okudan Kremer, "Strategic decision making for multiple-generation product lines using dynamic state variable models: The cannibalization case", *Computers in Industry*, Vol.65, No.1, pp.79-90, Jan. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.07.010>
- [3] G. Hu, B. Bidanda, "Modeling sustainable product lifecycle decision support systems", *International Journal of Production Economics*, Vol.122, No.1, pp.366-375, Nov. 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.06.011>
- [4] R.W. Seifert, J.-S. Tancrez, I. Biçer, "Dynamic product portfolio management with life cycle considerations", *International Journal of Production Economics*, Vol.171, No.1, pp.71-83, Jan. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.10.017>
- [5] R. Solomon, P. Sandborn, M. Pecht, "Electronic part life cycle concepts and obsolescence forecasting", *IEEE Trans. Components and Packaging Technologies*, Vol.23, No.3, pp.707-717, Dec. 2000.
- [6] R.-C. Tsaur, "Hybrid forecasting model for product life cycle", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, Vol.19, No.5, pp.1-8, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1080/10170660209509352>.

- [7] P.-T. Chang, "Fuzzy stage characteristic-preserving product life cycle modeling", *Fuzzy Sets Systems*, Vol.126, No.1, pp.33-47, Feb. 2002.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(01\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(01)00036-7)
- [8] W.-J. Kim, J.-D. Lee, T.-Y. Kim, "Demand forecasting for multigenerational products combining discrete choice and dynamics of diffusion under technological trajectories", *Technological Forecasting & Social Change*, Vol.72, No.7, pp.825-849, Sep. 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2003.09.003>
- [9] J. A. Norton, F. M. Bass, "A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of high-technology products", *Management Science*, Vol.33, No.9, pp.1069-1086, Sep. 1987.
DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.33.9.1069>
- [10] C.-Y. Huang, G.-H. Tzeng, "Multiple generation product life cycle predictions using a novel two-stage fuzzy piecewise regression analysis method", *Technological Forecasting & Social Change*, Vol.75, No.1, pp.12-31, Jan. 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2007.07.005>
- [11] T. Rehar, B. Ogrizek, M. Leber, A. Pisman, B. Buchmeister, "Product lifecycle forecasting using system's indicators", *International Journal of Simulation Modelling*, Vol.16, No.1, pp.45-57, Mar. 2017.
DOI: [http://dx.doi.org/10.2507/IJSIMM16\(1\)4.366](http://dx.doi.org/10.2507/IJSIMM16(1)4.366)
- [12] K. Hu, J. Acimovic, F. Erize, D. J. Thomas, J. A. Van Mieghem, "Forecasting new product life cycle curves: Practical approach and empirical analysis", *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol.21, No.1, pp.66-85, May 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1287/msom.2017.0691>
- [13] Y. P. Tsang, W. C. Wong, G. Q. Huang, C. H. Wu, Y. H. Kuo, K. L. Choy, "A fuzzy-based product life cycle prediction for sustainable development in the electric vehicle industry", *Energies*, Vol.13, No.15, Jul. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.3390/en13153918>
- [14] F. Afrinaldi, "Exploring product lifecycle using Markov chain", *Procedia Manufacturing*, Vol.43, pp.391-398, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.196>
- [15] W. E. Cox, Jr., "Product life cycles as marketing models", *The Journal of Business*, Vol.40, No.4, pp.375-384, Oct. 1967.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/295003>
- [16] R. Polli, V. Cook, "Validity of the product life cycle", *The Journal of Business*, Vol.42, No.4, pp.385-400, Oct. 1969.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/295215>
- [17] W. Qualls, R. W. Olshavsky, R. E. Michsels, "Shortening of the PLC? An empirical test", *Journal of Marketing*, Vol.45, No.4, pp.76-80, Sep. 1981.
DOI: <https://doi.org/10.1177/002224298104500410>
- [18] R. A. Thietart, R. Vivss, "An empirical investigation of success strategies for business along the product life cycle", *Management Science*, Vol.30, No.12, pp.1405-1423, Dec. 1984.
DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.12.1405>
- [19] G. Morcoux, Z. Lounis, M. S. Mirza, "Identification of Environmental Categories for Markovian Deterioration Models of Bridge Decks", *Journal of Bridge Engineering*, Vol.8, No.6, 353-361, Oct. 2003.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2003\)8:6\(353\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2003)8:6(353))
- [20] A. A. Butt, M. Y. Shahin, K. J. Feighan, S. H. Carpenter, "Pavement performance prediction model using the Markov process", *Transportation Research Record*, 1123, pp.12-99, 1987.
- [21] J. I. Sempewo, L. Kyokaali, "Prediction of the future condition of a water distribution network using a Markov based approach : a case study of Kampala water", *Procedia Engineering*, Vol.154, pp.374-383, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.495>
- [22] S. Madanat, W. H. Ibrahim, "Poisson regression models of infrastructure transition probabilities", *Journal of Transportation Engineering*, Vol.121, No.3, pp.267-272, May 1995.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1995\)121:3\(267\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1995)121:3(267))
- [23] Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/IPhone>.

유 재 욱(Jaewook Yoo)

[정회원]



- 1990년 2월 : 한양대학교 산업공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 일반대학원 산업공학과 (공학석사)
- 2004년 5월 : Texas A&M Univ. 산업공학과 (공학박사)
- 2004년 4월 ~ 2011년 8월 : 삼성 전자 책임연구원
- 2011년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 경영학과 교수

<관심분야>

경영과학, 제품개발 전략 및 계획, 공급사슬관리