

시스템 다이내믹스를 이용한 자동차 역공급사슬의 정량적 분석

임동준*, 김해중*, 심억수**, 박진우*

A Quantitative Analysis of Automobile Reverse Supply Chain Using System Dynamics

Lim Dong-June*, Kim Hae-Joong*, Sim Eok-Su** Park Jin-Woo*

Abstract

For an increasing interest on environment and a reinforcement of regulation, reverse supply chain is getting more interest recently.

In this study, reverse supply chain model of the automobile industry is designed using system dynamics. Using this model, an enterprise can do various analysis to get better understanding in strategic and operational aspect. The impact on supply chain which is caused by the variation of remanufacturing rate and recycle rate as time changes can be analyzed. Also environment image of the enterprise can be analyzed in quantitative manner to make it easy to set up own strategic plan.

Key Words: System Dynamics, Reverse Supply Chain, Simulation

* 서울대학교 산업공학과

** 삼성전자 기술총괄 메카트로닉스 연구소

1. 서론

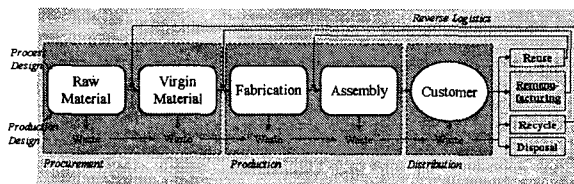
사용가능한 자원의 양이 한정되어 있고 폐기로 인한 환경 문제가 날로 심각해지는 현 상황에서, 사용된 제품이나 자재의 재활용(recovery)은 인구증가에 따른 소비수준 증가에 대응하기 위한 핵심적인 정책 중 하나이다 [1]. 이러한 관점에서 제기된 개념이 역공급사슬(reverse supply chain)이다. 다양한 역공급사슬에 대한 정의 중 가장 일반적으로 알려진 정의에 따르면 역공급사슬이란 소비에서부터 원재료 공급자까지 원자재와 공정중재고, 완제품, 그리고 관련된 정보에 대해 가치를 추가하거나 적절한 폐기를 목적으로 효율적이고 비용효과적인 흐름을 계획, 구현 및 통제하는 과정을 의미한다[2].

본 연구에서는 자동차 산업의 역공급사슬을 시스템 다이내믹스를 활용하여 모델링 하고자 한다. 모델을 통한 다양한 실험을 수행하고 실험을 통해 얻은 분석결과를 바탕으로 자동차 산업의 역공급사슬 특성을 얻어내는 것이 본 연구의 목표이다.

2. 배경 이론

2.1 역공급사슬

역공급사슬의 일반적인 모습은 [그림 1]과 같다. [그림 1]에서 확인할 수 있는 것처럼 제품은 구매단계를 거쳐 생산 단계에 이르게 된다. 생산 단계에서 산출된 제품은 소비자에게 최종적으로 전달되게 되는데, 소비자에게 유통된 제품은 재생 및 폐기 등의 과정을 거쳐 해당 처리 프로세스로 돌아가게 된다. 이 때 각 프로세스에서는 폐기물(waste)이 발생한다.



[그림 1] 역공급사슬의 일반적인 형태
한편 역공급사슬에서는 무엇이 '원자재'이며

누가 '최종 사용자'인지에 대해서 명확하게 정의하기 어렵다. 재사용이나 재활용과정을 거쳐 공급사슬에 투입된 원자재는 새로운 제품 생산을 위한 중요한 입력 요소 가운데 하나가 된다. GUID에 따르면 폐환형 공급사슬(closed-loop supply chain)이라는 개념은 선방향 물류와 역공급사슬을 하나로 묶는 전체적인(holistic) 관점을 반영하기 위한 것이다[3]. 이 경우 폐환형 공급사슬이라는 용어를 도입하는 것은 선방향을 역방향의 흐름과 동시에 고려해야 함을 강조하는 것으로 파악된다. 본 연구에서는 역공급사슬, 즉 폐환형 공급사슬을 연구 대상으로 한다.

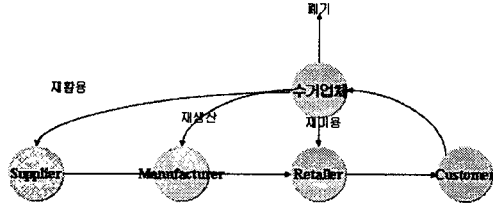
2.2 시스템 다이내믹스

시스템 다이내믹스는 산업 동역학(industrial dynamics)라고도 알려져 있으며 40년 정도의 역사를 갖고 있다. 시스템 다이내믹스는 경제, 경영, 조직 시스템 등을 이해하기 위해 피드백적인 사고와 제어 공학적인 개념을 적용하는 것이라고 말할 수 있다.

시스템 다이내믹스를 처음으로 제안한 사람은 MIT의 Jay Forrester이다. Forrester에 따르면 시스템 다이내믹스란 정책 분석이나 설계에 초점을 맞춘 복잡한 문제의 해결과 분석에 대한 컴퓨터 기반의 접근법이다. 흥미로운 점은 Forrester가 수행한 초기의 연구들 가운데에는 공급사슬 모델링에 관한 문제가 들어 있다는 점이다. Forrester가 모델을 통해 분석한 'Forrester flywheel effect'는 널리 알려진 'bullwhip effect'와 동일한 의미를 지닌다. 물 bullwhip effect의 원인에 대해 체계적인 분석을 내리지 못한다는 한계를 지니는 것이 사실이지만, 시스템 다이내믹스 모델의 유용성을 간접적으로 논증할 수 있는 부분이다.

3. 모델링

본 연구에서 기본 모델의 개념적 형태는 [그림 2]와 같다.



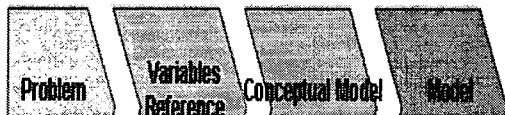
[그림 2] 기본 모델의 개념적 형태

[그림 2]에서 살펴 볼 수 있는 것처럼 일반적인 역공급사슬에서 나타날 수 있는 흐름들을 모두 고려하는 것을 원칙으로 하였다. 즉 본 논문에서 고려하고 있는 역 흐름(return flow)은 아래 네 가지이다.

- ◆ 재활용(recycle)
- ◆ 폐기(disposal)
- ◆ 재생산(remanufacturing)
- ◆ 재이용(reuse)

한편 본 논문에서는 자동차 산업으로 대상으로 역공급사슬의 형태에 대해 연구하였다. 자동차 산업은 국가경제에서 차지하는 비중이 크고, 국내외적으로 환경관련 규제들이 증가하는 시점에서 역공급사슬의 효율적인 관리를 통해 얻을 수 있는 효과가 크다고 판단했기 때문이다. 또한 특성화된 모델링을 통해 상세한 연구 진행이 가능하고, 이에 대한 이해를 바탕으로 다른 산업에도 적용이 용이할 것이다.

본 연구에서 사용된 모델은 [그림 3]과 같은 절차를 거쳐 진행되었다.



[그림 3] 모델 구현 절차

3.1. 개념적 모델 설계

시스템 다이내믹스를 모형화하는 과정은 두 단계로 나눌 수 있다[4]. 첫 번째 단계는 시스템의 정성적 분석 단계로, Influence diagram을 통해 각 객체들 사이의 상관관계 혹은 영향관

계를 표현한다. 두 번째 단계는 시스템의 정량적 분석단계로 Flow diagram을 통해 이들 관계를 수치로 나타내고, 이를 시뮬레이션을 통해 정량적인 결과를 도출한다.

정성적 분석단계에서, 우선 분석하고자 하는 시스템에 대한 기본적인 정의와 인과관계의 가정들을 설정한다. 이를 도식적으로 모형화함으로써 목적을 정의하고, 이를 바탕으로 시스템의 입/출력 분석을 수행하여 Casual-loop diagram을 작성한다. Casual-loop diagram은 “원인과 결과의 폐쇄된 연속 과정 또는 실행과정 정보의 폐쇄된 경로”로 정의되는데 모형을 구성하는 변수들을 정의하고 이들 간의 영향력의 방향을 표현한다. Casual-loop diagram은 시스템에서의 주요한 피드백 메커니즘을 표현하는데, 이러한 메커니즘에는 크게 두 가지 형태가 존재하며 이들은 각각 마이너스의 피드백(negative feedback: balancing), 플러스 피드백(positive feedback: reinforcing)이라 한다. 자동차 산업의 역공급사슬에 대한 Influence diagram의 형태는 [그림 4]와 같다.

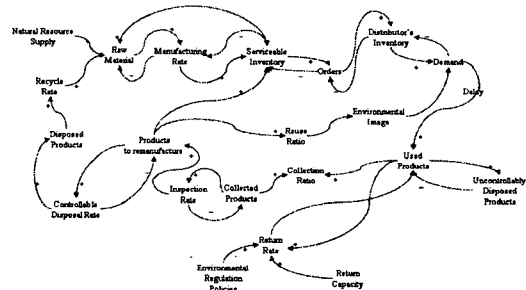
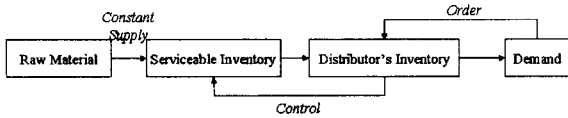


그림 4 Influence Diagram

본 연구에서는 Patroklos[5]의 모형을 자동차 산업에 맞게 변경하여 연구를 진행하였다. 특히할만한 변경 내용은 아래와 같다.

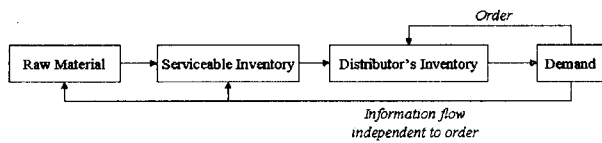
- ◆ 공급사슬 형태의 변화
- ◆ 재활용(recycle)에 대한 부분을 추가
- ◆ 재사용(reuse)이 수요를 직접 교란

우선 공급사슬 형태를 본 연구에서 연구대상으로 삼고 있는 자동차 산업의 형태를 고려하여 수정하였다.



[그림 5] Patroklos의 모델의 공급사슬 개형

[그림 5]는 Patroklos가 제안한 모형이다. 그림에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 소비자 수요가 유통망의 재고 창고에 전달되면, 이 정보에 따라 생산업체에 주문이 들어가서 생산이 이루어진다. 이 때 원자재 공급은 일정하게 유지된다.



[그림 6] 수정된 모델의 공급사슬 개형

이러한 공급사슬 형태는 [그림 6]과 같은 형태로 전환하였다. 우선 수요정보는 자동차 제조업체에 직접 전달되며 이 정보를 바탕으로 자동차 제조업체가 부품제조 업체와 자재공급 업체에 생산을 위한 공급자재들을 요청한다. 자동차 제조업체에 의해 생산이 통제되는 현실적인 부분을 반영한 것이다.

재생산과 재활용이 확연히 구분되는 자동차 산업의 특성을 고려하여 모델을 구성함으로써 재생산과 재활용의 두 가지 측면에 대한 분석을 가능하게 하였다. Patroklos의 경우에는 재활용에 대한 부분이 모델에 없었다.

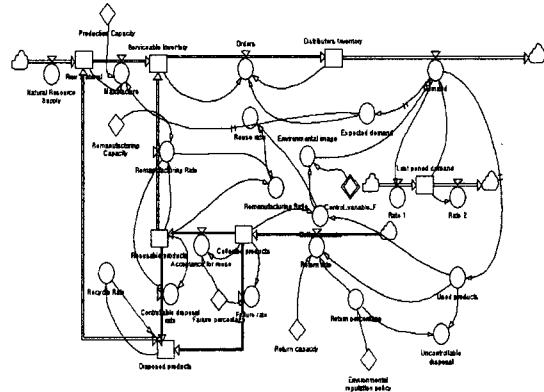
또 재사용이 수요를 직접 교란할 수 있도록 모델을 수정하였다. 한편 Patroklos의 경우에는 remanufacturing 프로세스와 기업의 환경 친화적인 이미지 개선을 통해 간접적으로 수요에 영향을 끼치는 것으로 모델을 구성하였다. 이는 자동차 사업의 경우에는 재사용 비율이 직접 수요에 영향을 크게 미친다고 판단하였기 때문이다.

3.3. Flow Diagram

Casual-loop diagram은 변수들 간의 원인과 결과에 대한 일반적인 행동들을 이해하는 데 매우 유용하지만 기능적 관계의 상세함이나 정

확성 등이 부족하다. 따라서 이를 보완하기 위해 Flow diagram을 작성한다.

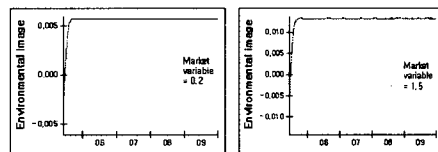
본 연구에서 작성된 flow diagram의 형태는 [그림 7]과 같다. 3.1에서 서술한 개념적 설계를 바탕으로 구현된 것을 확인할 수 있다.



[그림 7] Flow Diagram

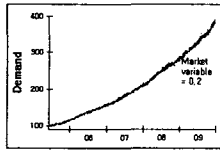
4. 실험 및 분석

실험을 통해 시장 환경에 따른 기업의 환경 이미지와 수요의 변화 형태를 살펴보았다. 이 때 기업이 환경적 요소에 민감한 경우와 둔감한 경우로 나누어 진행되었다. 시장변수 (market variable)가 큰 쪽이 기업이 환경적 요소에 민감한 경우를 의미한다.

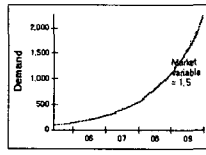


[그림 8] 기업의 태도에 따른 환경이미지-1
[그림 9] 기업의 태도에 따른 환경이미지-2

[그림 8]과 [그림 9]에서 확인할 수 있는 것처럼 시장변수가 큰 경우에는 기업의 환경 이미지가 증대됨을 확인할 수 있다.



[그림 10] 시장 변수에 따른 수요-1



[그림 11] 시장 변수에 따른 수요-2

[그림 10]과 [그림 11]은 각각의 기업의 태도에 대한 수요 변화를 나타내는 그래프이다. 기업의 환경 이미지에 따라 시장 수요에 있어서도 그 차이가 크게 나타남을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 시스템 다이내믹스를 이용한 자동차 산업의 역공급사슬에 대한 모델링을 수행하였다. 시뮬레이션 분석 결과 기업의 환경적인 관심이 수요에도 큰 영향을 끼칠 수 있음을 확인하였다.

향후 네 가지 역 흐름의 변화 즉, 재활용, 폐기, 재생산, 재이용률의 변화에 따른 전체 역공급사슬의 변화를 정략적으로 분석할 예정이다. 각 요소들의 개별적인 영향 뿐 아니라 복합적인 변화에 따른 역공급사슬의 특성도 파악할 수 있을 것이다. 이들 관계에 대한 이해를 통해 기업의 전략 수립에 활용 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] Fleischmann, M., "Quantitative models for reverse logistics", Springer-Verlag, Berlin, 2001.
- [2] Stock J., "Development and Implementation of Reverse Logistics Programs", Council of Logistics Management, USA, 1998.
- [3] Guide Jr. V.D.R. and Van Wassenhove L.N., "Business Aspects of Closed-Loop Supply Chains", volumes 2 of Carnegie Bosch Institute International Management

Series, Carnegie Mellon University Press, Pittsburgh, PA, 2003.

- [4] D. Towill, "Industrial dynamics modeling of supply chains", International Journal of Physical Distribution and Logistics Management Vol. 26 No2. pp.23-42, 1995.
- [5] Patroklos G., and Dimitrois V., "The effect of environmental parameters on product recovery", European Journal of Operations Research, Vol. 157, pp.449-464, 2004.