

공급사슬 최적화를 위한 다중의 수리적 모델 활용 구조

Integrating Multiple Mathematical Models for Supply Chain Optimization

한현수

한양대학교 정보통신대학 hshan@hanyang.ac.kr

Abstract

제조 기업의 가치사슬 최적화를 위한 전략적, 운영상 의사결정 문제는 수리적 모델을 이용한 DSS의 효과적인 활용을 통하여 해결 될 수 있다. 의사결정 프로세스는 필연적으로 공급사슬의 여러 성과 목표와 관련 조직간의 Trade-off 및 연계관계 (Interaction)가 고려되므로 복수의 DSS 활용이 필요하게 된다. 이와 관련하여 본 논문에서는 공급 사슬 전체의 최적화를 위한 다수의 전략적 목표 및 의사결정 프로세스, 연계된 수리적 모델들을 정의하고, 관련 조직 및 성과 지표 별 부분적 최적화 (Local Optimality)를 지양하고 전체최적화 (Global Optimality)를 달성하기 위한 DSS Logic을 철강산업 프로세스를 대상으로 수리적 모델들의 분할 (Decomposition) 및 통합개념을 통하여 제시하였다.

Key Word : Value Chain Optimization, DSS, Mathematical Models, Global Optimality, Decision Making Process, Decomposition, Steel Industry

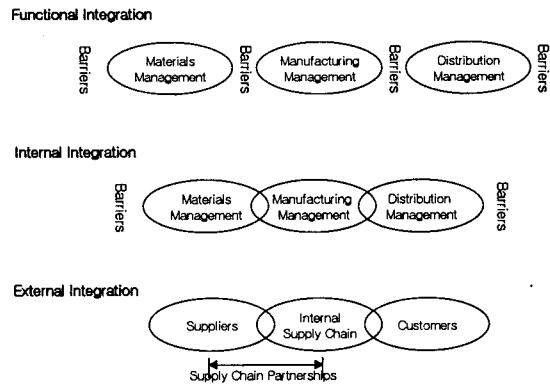
1. 서론

정보기술의 활용을 이용한 기업의 성과 향상 방안에 대한 중요성은 여러 각도에서 강조되어 왔고 CIM, ERP, BPR 등의 프로젝트를 통하여 많은 기업들에 의하여 시도되어 왔다. 최근에는 이와 같은 정보화 경영 혁신 노력이 인터넷이라는 정보 인프라를 이용하여 하나의 독립적인 기업의 성과 향상에서 공급과 유통과 연계된 네트워크 개념의 확장 기업 (Extended Enterprise)의 성과 향상으로 발전되고 있다.

이와 같은 확장기업의 성과 향상을 위해서는 필연적으로 공급사슬 기업간의 협동과 인터페이스 프로세스의 데이터 공유와 통합이 필요하게 된다. Maloni와 Benton [4]은 공급사슬 파트너십을 위한 협력 구조와 관련하여 그림 1과 같이 기업내 (Intra-Firm)와 기업간 (Inter-Firm)의 단계적 통합을 통한 효율 향상 프레임워크를 제시하였다.

공급사슬 최적화를 위한 기업내, 기업간 프로세스 통합은 매우 복잡한 문제이며 필연적으로 비즈니스 프로세스 변화(BPC; Business Process Change)와 새로운 정보시스템을 필요로 하며 조직간, 그리고 기업간의 목표에 대한 공감대가 형성

되어야 한다. 그러나 조직내부 혹은 공급사슬 상 기업간의 통합에는 여러 가지 제약조건이 따르게 된다. 따라서 조직간의 이해관계에 대한 조정과 관련 조직의 여러 가지 목표를 고려한 만족할 방안을 도출할 수 있는 계량적 의사결정 모델의 도입이 필요하게 된다 [2]. 또한 공급사슬 전체에 대한 최적화를 달성하기 위해서는 일차적으로 제조 기업이 제품을 공급 받는 고객기업의 가치를 고려하여 내부 공급체인의 최적화를 달성하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 공급체인 가치 최적화를 위한 현실적인 이슈중의 하나인 제조기업의 내부 가치사슬 최적화를 위한 비즈니스 프로세스 통합 이슈와 전체 최적화를 위한 의사결정 모델의 구조를 중점적으로 다룬다.



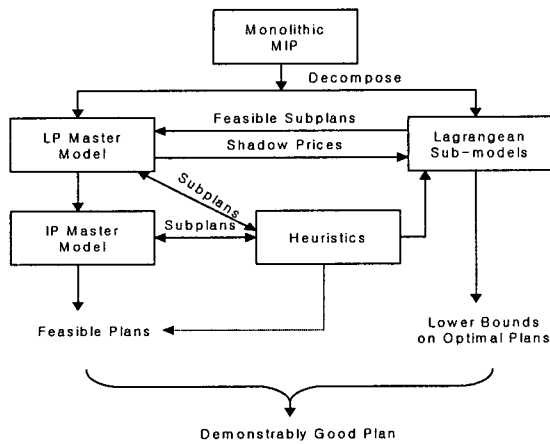
[그림 1] 공급사슬 통합단계 [4]

2. BPC와 의사결정모델

비즈니스 프로세스는 인풋을 아웃풋으로 변화시키는 가치부가(Value Adding) 활동으로 정의되며 이와 같은 관점에서 조직의 비즈니스 프로세스는 정보의 흐름 하에서 이루지는 연속적인 의사결정 모델의 집합체로 표현 될 수 있다 [6]. 그러나 BPR에서 의사결정 모델들의 효과적인 활용은 상대적으로 변화 관리의 중요성에 비해서 덜 주목을 받아 왔다. 이에 관련하여 Shapiro[7]는 공급체인 통합을 위한 모델링과 IT 이슈에 관하여 공급사슬관리에서 정보 기술의 발달로 인한 모델링 시스템의 중요성, 의사결정을 위한 분석적 IT와 트랜잭션

IT의 효과적인 조화, 전략적 의사결정과 운영적 의사결정의 비즈니스 프로세스 변화와 모델 활용의 연관성의 중요성을 강조하였다. 공급사슬의 핵심성과 지표를 높이는 의사결정의 계량적인 해법을 제시하는 의사결정 모델은 필연적으로 제약조건을 수리적으로 표현해야 하므로 실제 사용에 대한 다음과 같은 제약조건을 갖고 있다.

- 의사결정에는 전략적 레벨과 운영적 레벨의 의사결정 사항이 있으며 후자는 전자의 사상과 목표를 가정 하에서 이루어 져야 하나 이에 대한 모델링의 난이도 때문에 적절한 해를 제공하지 못한다.
- 의사결정은 많은 의사결정 변수와 전략적으로 상이한 목표를 균형 있게 만족시키는 (Satisficing) 해를 제시하여야 하는 데 이에 대한 계산적 복잡도는 다를 수 있는 범위를 넘을 수 있다.
- 모델의 수리적 난이도는 비즈니스 변화를 수행하는 제약조건 (Conversion Barrier) [1]의 하나인 조직원의 지식과 사용 편의성을 만족시키지 못한다.



[그림 2] 통합최적화 프레임워크 [8]

이와 같은 제약사항 들을 효과적으로 극복하고 비즈니스 프로세스 혁신을 달성할 수 있는 수리적 모델의 구현 방안에 대하여 Shapiro [8]는 분할 (Decomposition)과 휴리스틱에 의한 그림 2와 같이 통합 최적화 모델을 제시하였다. 그림 2의 모델

은 일반적으로 MIP(Mixed Integer Program) 표현되는 공급체인 최적화 문제를 분할하여 휴리스틱을 이용한 연속적인 조정 작업을 거쳐서 만족하는 해를 구하는 접근 방법이다. 이와 같은 기업의 전체 문제를 분할 프레임워크에 의하여 복수의 의사결정 모델로 분할 하는 Multimodel 구조는 조직의 의사결정 과정과 단의 조직의 문제를 조직원이 효과적으로 해결 할 수 있는 조직 프로세스와의 일치 (Compatible) 하고 전체 문제의 복잡도를 상대적으로 분리 가능한 단위로 분할하여 계산적 복잡도를 줄일 수 있고, 분할 된 모델의 반복사용으로 인한 사용자 스킬 향상을 할 수 있는 장점으로 많은 성공 사례를 제시 하고 있다 [5].

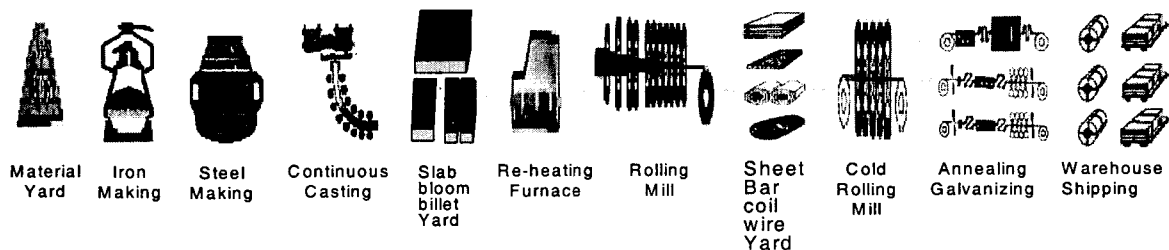
3. 공급사슬 통합과 DSS

본 절에서는 그림 1에서 제시한 공급사슬 최적화를 통합과 관련하여 제품 생산 기업을 중심으로 다운스트림 기업고객을 위한 전략적 목표와 생산의 효율성을 위한 목표 등의 다수의 목표를 만족시키기 위한 최적화와 이를 위한 수리적 의사결정지원 시스템의 활용방안을 POSCO를 배경으로 한 일관 제철소의 비즈니스 프로세스를 이용하여 제시하고자 한다.

철강산업은 초기 설비 건설에 대규모 투자를 필요로 하는 장치산업의 대표적 산업 중 하나이다. 철강산업은 그림 3과 같이 다단계의 공정이 조합생산의 및 프로세스 생산, 그리고 ETO(Engineer to Order)의 복합적 성격을 갖고 있다. 철강 공정은 일차적으로 철광석이나 고철에서 선철을 생산하는 선강 과정과 화학적 성격과 규격을 갖는 슬라브 중간 생산품 생성 과정을 걸쳐 고열의 압축과정을 이용하여 슬라브를 열연제품으로 변화 시키는 열간 압연공정으로 구성되어 있다. 냉연 공정은 열간 압연과 유사한 냉간압연 과정을 거쳐 담금질 혹은 가공공정을 거쳐 도금라인으로 투입되어 후처리를 통해 최종적으로 냉연제품이 생산된다. 냉연 공정의 단계별로 일부 제품은 최종 제품으로 출하 되기도 한다.

공급사슬의 성과 지표는 운영 효율성과 고객 만족도의 두 가지 범주로 분류되며 공급사슬의 최적화는 이들 두 원칙의 성과를 최대화하며 Trade-off 를 만족하는 솔루션을 찾는 것이라 할

Operation Flow

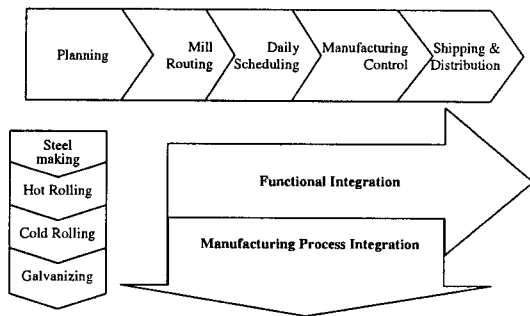


[그림 3] 철강 공정 다이어그램 (POSCO)

수 있다 [2]. 철강 제조와 관련하여 이러한 상위 레벨의 전략적 목표는 각각 생산성과 가동률, 그리고 납기와 재고(생산자, 고객 포함)이며 이러한 전략적 목표는 제조 프로세스의 단위 최적화가 전체 공급사슬 최적화와 차이가 발생하는 근본 원인이 되기도 한다.

철강제조업에서의 비즈니스 프로세스는 생산, 판매계획, 통과공정설계, 생산 스케줄링, 조업관리, 출하 및 유통으로 분류된다. 각각의 비즈니스 프로세스에서는 각각 연속 혹은 단속적으로 연계되는 제강, 열연, 냉연, 도금 공정을 대상으로 계획, 스케줄링, 조업관리의 최적화를 목표로 한다. 또한 철광석을 원료로 하여 제 공정을 거쳐 최종 완제품으로 되기까지는 철강 공정의 특성상 물류의 공장흐름 결정 (Mill Routing), 제조 Lot의 조합, 그리고 선 후 공정의 물류 밸런스가 고려 되어야 한다 [그림 4]. 따라서 내부 공급사슬의 최적화를 위한 통합 이슈는 다음과 같은 세가지로 정리 될 수 있으며 이들은 또한 생산성, 가동률, 납기, 재고 등 Trade-off 목표를 만족하는 방향으로 최적화 되어야 한다

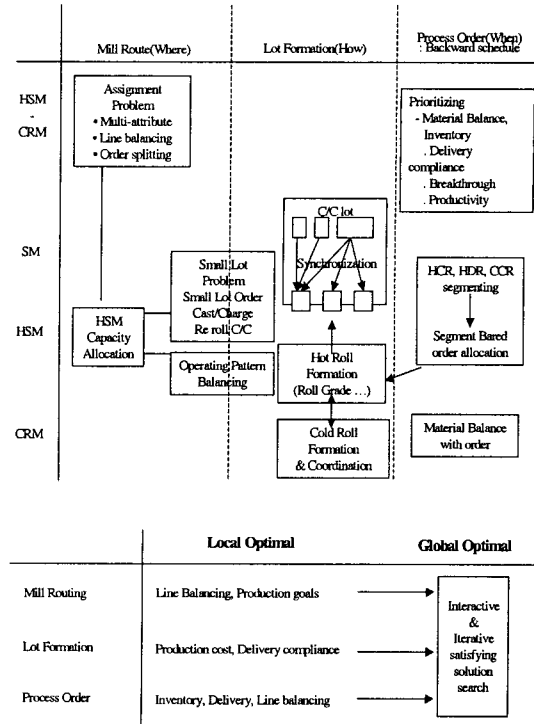
- 계획, 통과공정설계, 스케줄링, 조업 등 순차적인 비즈니스 프로세스를 거치면서 각 프로세스의 제한적 부분 최적화를 극복하기 위한 비즈니스 프로세스 통합 이슈
- 단위공정의 최적화와 전체 공정의 최적화를 균형적으로 만족하는 이슈
- 통과 공정설계와 제조 Lot 조합, 공정간 물류 밸런스 유지의 서로간 일치하지 않는 의사결정 변수들로 발생하는 부분 최적화의 극복 이슈



[그림 4] 프로세스 통합 대안

4. 수리적 모델 및 전체 최적화

비즈니스 프로세스와 공정 각각의 최적화를 위한 의사결정사항과 의사결정 모델은 각각 그 성격을 달리한다. 제강 공정에서는 Cast/Charge 조합의 최적화를 통한 열 손실과 Cast를 바꿀 때 발생하는 셋업 비용을 최소화 하는 것이 목표이며 열연 공정에서는 제강 공정에서 생산되는 슬라브를 재질별, 폭별로 그룹핑하여 롤단위 생산성을 최대화 하는 것이 목적 함수이고, 냉연 공정에서는 압연 공정과 유사한 기준으로 롤을 편성하나 후공정인 도금라인의 생산성을 고려 하여야 한다. 도금 공정에서는 유사한 강종과 도금 방법, 후처리 등의 연



[그림 5] 의사결정 포트폴리오

속적 제약조건을 고려하여 도금 모드 변경의 최소화와 생산성, 가동률을 유지하는 것이 중요하다. 이러한 단위 공정의 생산성 관련 조건을 만족하며 또한 연속 공정의 입측 소재를 적절하게 공급하여야 하며 또한 제강, 열연, 냉연 복수 공장간의 적정한 부하 배분, 그리고 고객 주문의 납기 만족을 또한 고려 하여야 한다. 그림 5에서 표현된 의사 결정 포트폴리오를 기준으로 한 통합에 대한 대안은 여러 가지가 있을 수 있다.

첫번째는 주문의 통과 공정 결정 (Mill Routing)과 제조 lot 편성 문제의 통합을 들 수 있다. 이와 같은 통합은 제조 Lot Size를 최적화 하는데 필요한 재료 들이 다른 Mill로 분산되는 것을 억제 함으로서 부분 최적화의 문제점을 개선 할 수 있다.

두 번째는 제강과 열연 공정을 통합하여 스케줄링 하는 것이다. 제강에서 생산되는 고열 상태의 슬라브가 열간 압연으로 시간 갭 없이 연속적으로 투입(Hot Direct Roll) 될 때와 고열 상태를 유지하며 시간 차이를 두고 투입(Hot Charge Roll)될 때, 그리고 냉각 상태에서 투입(Cold Charge Roll) 될 때에는 에너지 비용의 차이가 매우 크게 된다. 이 두 공정의 통합 최적화의 제약은 제강에서의 Lot 조합 조건과 열간 압연에서의 Lot 조합 조건이 틀리다는 점이다.

이러한 원가 절감 효과를 목적으로 복잡한 수리적 모델을 이용하여 이 문제를 해결 하려는 시도는 많은 문헌에서 보고 되었다 [9]. 그러나 그림 6에서 제시된 바와 같이 제강의 Cast/Charge 편성 문제 자체도 NP-Complete 문제로 납기, 공정 Balance, 생산성 등을 고려한 단위 최적화 해를 구

하기는 매우 어렵다. 따라서 이 문제의 효율적 해법으로는 문제를 제약 조건이 있는 Set Partitioning Problem으로 정형화하고 여러 개의 Sub-Problem으로 나누어서 휴리스틱을 이용하여 순차적으로 제한적으로 만족 할 만한 해를 구하는 것이 바람직 할 수 있다 [3].

세 번째는 열연과 냉연 공정을 통합하여 최적화 하는 해를 구하는 것이다. 이와 같은 접근 방법의 장점은 전공정(열연)의 부분 최적화에 우선적 가중치를 두면 후공정(냉연)의 생산성이 낮아지고 납기적중률이 낮아지고 후공정에 우선 순위를 주면 제강, 열연 등 전공정에 생산성이 낮아지는 문제점을 해결 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 냉연 공정 자체가 도금과 후처리 까지 통합된 연속 공정으로 좋은 해를 구하기가 어렵고 열연은 제강과의 연속성 때문에 좋은 휴리스틱 해를 구하는 것은 매우 도전적인 과제이다.

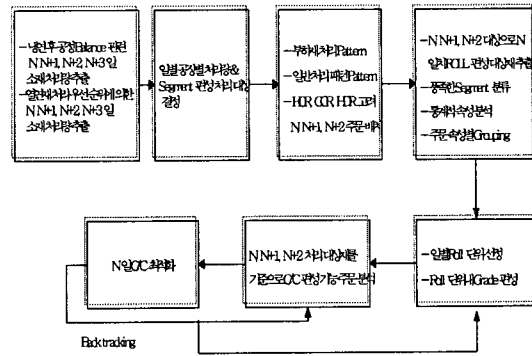
P : Product Name, Q : Order Quantity, W : Width, R : Present Cast Volume,
M : Present Cast Order,
Attribute of Order $i = \{ di, wi, pi, qi, ci \}$
= {delivery terms, width, product, quantity, grade}
While R < 1300 t do
Begin
Select P, Q from material balance of subsequent process
Extract set of Orders: $S = \{ i | pi = P \}$
Sort the orders S in descending order of delivery terms
Determine C, W ; Present grade & width
Select $M = \{ i | ci = C, wi = W, i \in S \}$
Fill up Charge with M, and make allowance within tolerance
Update $R \leftarrow R + \sum_{i \in M} Qi$
end

[그림 6] 제강의 C/C 편성 알고리즘

공급사슬 최적화를 위한 의사결정 모델 구조를 결정 짓는 다른 중요한 이슈는 납기, 재고, 생산성 등 핵심 성과를 동시에 만족하는 해를 구하는 것이다. 납기 성과를 높이기 위해서는 필연적으로 재고가 증가하게 되며 여러 주문을 모아야 하는 Lot 조합의 최적화를 희생해야 한다. 또한 생산성을 높이려면 Lot의 대형화를 목적으로 함으로 재고가 늘고 납기 지연을 유발할 수 있다. 또한 공급사슬 재고를 줄이며 납기와 생산성을 만족하는 것은 매우 어려운 이슈이다. 본 논문에서는 이와 같은 여러 가지 목표와 다공정간의 부분 최적화를 균형화 하는 휴리스틱의 한 예 [그림 7] 만을 들기로 한다.

5. 결론

복잡한 공정을 갖고 있는 제조기업의 가치사슬 최적화를 위한 의사결정 모델의 효과적인 사용은 매우 어려운 과제이다. 또한 수리적 모델이 실제로 사용되어 성과 향상에 기여하기 위해서는 정확한 솔루션 탐색, 트랜잭션 정보시스템과의 통합, 사용자들의 편의성과 업무 휴리스틱과의 일치성 (Compatibility)을 유지 함으로서 거부감을 없애는 문제, 부서간 혹은 기업간의 통합에 대한 갈등 해소, 그리고 전체 최적화와 부분최적화의 균형적 조



[그림 7] 휴리스틱 흐름과 C/C 편성

을 등의 이슈를 극복 해야 한다.

이와 같은 이슈에 대하여 본 논문에서는 제조업의 내부 공급사슬 최적화를 중심으로 전개하였으며 분할과 휴리스틱에 의한 상세한 알고리즘 소개와 데이터 분석은 다른 기회를 통해서 하기로 한다. 본 논문에서 전개된 로직은 확장 기업을 대상으로 한 통합에 대한 연구나 가치사슬 최적화를 위한 수리적 모델의 활용에 대한 프레임웍으로 참조될 수 있다.

6. 참조 문헌

- [1] Chircu, A., Kauffman, R., "Limits to Value in Electronic Commerce Related IT Investments", JMIS, Vol.17, No.2, Fall 2000, pp. 59-80
- [2] Haavengen, B., Olsen, D., Sena, J., "The Value Chain Component in a Decision Support System: A Case Example, IEEE Transactions on Engineering Management", Vol. 43, No. 4, Nov 1996, pp. 418-428.
- [3] Han, H.S., Ali, A.I., "Reformulation of the Set Partitioning Problem as a Pure Network with Special Order Set Constraints", Annals of Operations Research, Vol. 81, 1988, pp. 233-249.
- [4] Maloni, M., Benton, W.C., "Supply Chain Partnership, EJOR, Vol. 101, 1997, pp. 419-429.
- [5] Orman, L., "A Model Management Approach to Business Process Engineering", JMIS, Vol. 15, No. 1, Summer 1998, pp. 187-212.
- [6] Moore, T.C., Whinston, A.B., "A Model of Decision Making with Sequential Information Acquisition", Decision Support Systems, Vol 2., No.4, 1986, pp. 289-308.
- [7] Shapiro, J.F., "Modeling and IT issue in Supply Chain Integration", Proceedings on SCM Research, Rockville, April 2001
- [8] Shapiro, J.F., Modeling the Supply Chain, Duxbury Press, 2001.
- [9] Tang, L., Liu, J., Rong, A., Yang, Z., "A Review of Planning and Scheduling Systems and Methods for Integrated Steel Production", EJOR, Vol.133, 2001, pp. 1-20.