

다단계 생산로트크기 결정문제의 분석과 단순화 방법

김갑환* · 박순오**

A Methodology for Analysis and Simplification of Multi-level Dynamic Production Lot Sizing Problems

Kap Hwan Kim* · Soon-O Park**

■ Abstract ■

When we try to design a production planning system for a manufacturing company, it is a time consuming task to analyze various planning activities and identify inter-relationship among a lot of decisions made for the production planning. Most of the research efforts have been concentrated to well-organized independent decision-making problems that may usually be identified only after analyzing the characteristics of the decision-making process as a whole. In this paper, a methodology is suggested to characterize the whole process of the production planning for a manufacturing company and reduce the complexity of decision-making problems. The methodology is based on an experience of developing a production planning software for an automobile component manufacturer in Korea. First, it is explained how to identify and represent the dependency among various decision-making variables. And a methodology is proposed to analyze the identified dependency among decision variables and identify decision-making process. Lastly, a practical example is provided to illustrate the analysis procedure in this paper.

1. 서 론

본 논문에서 다루는 생산계획 문제는 시간축이

일정한 크기의 기간(time bucket)으로 나뉘어져 있고 각 기간동안 생산하여야 할 생산량을 결정하는 생산로트크기 결정문제이다. 제품의 구조는 일반적

* 부산대학교 산업공학과

** 한국과학기술원 산업경영연구소 CIM 센터

으로 BOM(Bill-of-material)의 형태로 주어지므로 품목간에 의존관계를 가지고 있으며, 각 작업장은 생산능력에 제약을 가지고 있으므로 품목간에 다른 형태의 의존관계를 가진다. 대부분의 생산업체는 이와 같은 문제를 가지고 있으며 이를 해결하기 위하여 현장에서는 MRP(Material Requirement Planning), OPT(Optimized Production Technology), JIT(Just-In-Time) 등과 같은 이름의 기법들이 사용되어 왔다. 한편, 학계에서는 이를 수리적 모형으로 만들어 단순한 상황에 대해서 최적해를 구하기 위한 연구나 해법의 효율을 향상시키기 위한 연구가 계속되어 왔다. 그러나, 막상 현장의 문제를 해결하려고 할 때, 어떤 문제에 해당되는지, 어떤 기법을 사용하여야 할지 판별하기가 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 현장의 문제를 관찰하고, 어떻게 문제를 분류하며, 어떤 절차를 거쳐서 의사결정을 해야 하는지, 궁극적으로 어떤 세부적인 의사결정 문제로 분할될 수 있는지를 파악하는 분석절차를 소개하고자 한다. 그리고, 이 분석절차를 자동차 부품업체에 적용한 사례를 소개하고자 한다.

본 연구와 관련하여 이론적으로 연구되고 있는 기존의 생산로트크기 결정법에 관한 문제는 대부분 생산능력이 제한된 설비에서 복수개의 품목을 생산하는 경우에 작업준비비용과 재고유지비용의 합을 최소화하기 위한 각 기간별 생산로트크기를 결정하고자 하는 문제이다.

이 유형의 문제에 대한 초기 논문으로서 Wagner와 Whitin의 동적계획법에 의한 해법[24]을 들 수 있는데 그 이후 능력이 제약이 있는 경우로 확장되고[3, 9, 13, 18, 19, 20, 22], 한편에서는 품목의 구조가 다단계인 상황[5, 12, 14, 26]으로 확장되어 왔다. 몇가지 최적화 기법들이 제시되어 있지만 그 계산상의 부하 때문에 발전적 기법들이 많이 발표되었다[3, 7, 8, 11, 15, 16, 17, 21].

생산로트크기결정문제는 재고유지비용, 작업준비비용, 부족비용의 합을 최소화하는 문제로서 의사결정변수들간에는 생산능력, 자재공급, 소요량만족 등의 제약조건들로 인하여 상호의존성이 존재하게 된다. 이 상호의존성이 생산로트크기결정문제를 어렵게 만드는 요소로서 특수한 상황에 따라서는 무시해도 좋은 상호의존성도 있다. 즉 생산구조, 수요구조, 품목구조 등의 현실적 특성들로 인하여 어떤 의사결정변수들의 상호의존성은 무시할 수 있는 경우가 많다.

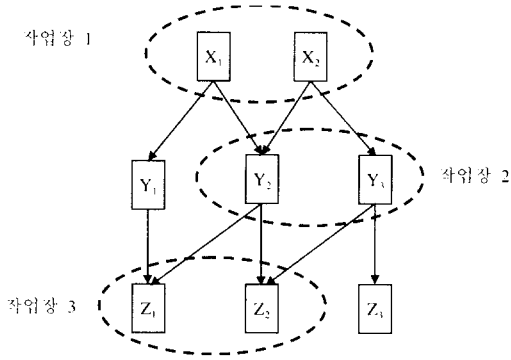
본 연구에서는 생산로트크기 결정문제의 의사결정 변수간의 상호의존관계를 이용하여 변수들간의 관계를 그래프 형태로 표현하는 방법을 소개하고, 그 상호의존성의 특성을 분류한 다음 이들 상호의존성을 제거하기 위해 도입할 수 있는 가정들에 대해 소개한다. 그 다음, 상호의존성을 제거한 후 남겨진 그래프에서 어떤 의사결정변수들은 동시에 고려하여 결정해야 하고 어떤 의사결정변수들은 독립적으로 결정할 수 있는가를 분석하여, 전체적 의사결정순서를 정하는 방법을 논의한다. 또한, 본 연구에서 제시한 분석기법을 자동차 부품업체의 생산로트 크기 결정문제를 분석하는 데 적용하여 시스템을 설계하는 과정에서 어떻게 활용하였는가를 보이고자 한다.

2. 생산계획 의사결정 변수간의 상호의존성

2.1 상호의존 그래프의 작성

본 연구에서 대상으로 하고자 하는 문제는 계획기간이 여러 개의 단위기간(time bucket)으로 나뉘어져 있고 각 단위기간동안 생산하여야 할 품목별 생산량을 계획하는 업무를 대상으로 하고자 한다. 이런 문제의 대상이 되는 제품의 가장 일반적인 구

조의 예를 살펴보면 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 일반적인 공정 및 제품 구조

위의 그림을 보면, 여러 품목들이 동일작업장을 이용함으로써 생산능력을 공유하게 되고 상위품목은 하위품목의 소요량을 제시하게 되며, 하위품목은 상위품목에게 자재를 공급함으로써 생산활동에 영향을 미치게 된다. 생판계획 문제는 각 품목에 대하여 각 단위기간마다의 생산량을 결정하는 것인데 이때 재고비용이나 준비비용 등의 제반 비용을 최소화하는 방식으로 생산량을 결정하는 문제이다.

일반적으로 이 문제에 대하여 많은 수리적인 모형과 결정 절차들이 제시되었는데 이들 기법들에서 공통적으로 고려하고 있는 대표적인 목적함수나 제약조건을 정리하면 아래와 같다[3-5, 7-9, 11-22, 24, 26].

(1) 목적함수 : 재고유지비용, 준비비용, 부족비용

(2) 제약조건 :

- ① 생산능력의 제약
- ② 자재공급상의 제약
- ③ 소요량 만족의 제약
- ④ 재고방정식(inventory balance equation)

위의 목적함수나 제약조건들을 상호의존성으로 표현하면 다음 4가지 항목이 된다.

(1) 재고관련비용 최소화/재고방정식의 의존성 :

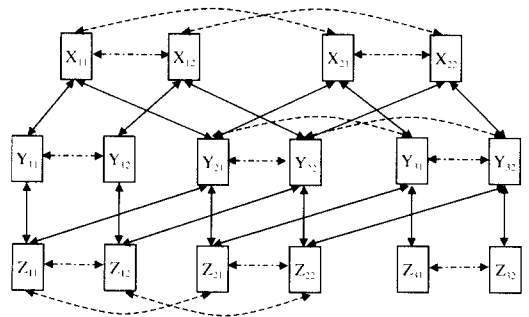
동일품목, 다른 기간 생산량사이의 의존성

(2) 생산능력의 제약 의존성 : 동일작업장, 다른 품목, 동일기간 생산량사이의 의존성

(3) 자재공급상의 제약 의존성 : 동일기간, 상위 품목이 하위품목의 생산량(또는 공급량)에 의존한다는 관계

(4) 소요량 만족의 제약 의존성 : 동일기간, 하위 품목이 상위품목의 소요량을 만족시켜야 한다는 의존성

위에서 예로 든 이들 의존관계를 모두 고려하여 상호의존관계를 그래프로 나타내면 [그림 2]와 같이 된다. 여기에서는 계획기간(planning horizon)을 두 기간으로 간략화하여 예시하였다. [그림 2]에서 일점쇄선은 재고관련비용/재고방정식에 대한 의존관계를 나타내고, 점선은 작업장의 능력제약에 의한 의존관계이다. 실선 중 하행실선은 소요량의 발생을 나타내고 상행실선은 자재의 공급계약에서 오는 의존관계를 나타낸다. 여기에서 X_{jt} 는 제품 X_j 의 j 번째 단위기간동안의 생산량을 나타낸다.

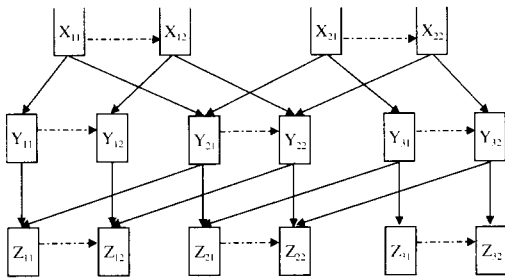


	점선	생산능력 제약 의존성
	일점 쇄선	재고관련비용 최소화/재고방정식에 대한 의존성
	상행 실선	자재공급상의 제약 의존성
	하행 실선	소요량만족 제약 의존성

[그림 2] 의사결정변수 상호의존 그래프

이 문제에 관련하여 가장 널리 알려져 있는 방법은 자재소요계획(Material Requirement Planning)기

법이다[22, 23]. 전통적인 자재소요계획의 논리에서는 (1) 작업장의 능력제약을 고려하지 않고 (2) 상위 품목을 계획할 때, 하위품목의 자재사용가능성을 고려하지 않는다. 또 (3) 목적함수를 최소화하기 위해서 앞 기간부터 순차적으로 결정해 나가되 근시안적인 방식으로 이후의 비용을 고려한다. 이 과정에서 재고방정식에 의한 재고량의 의존관계는 당연히 고려된다. 이와 같은 가정이나 의사결정의 전략을 고려하면 [그림 3]과 같이 그래프가 바뀌게 된다.



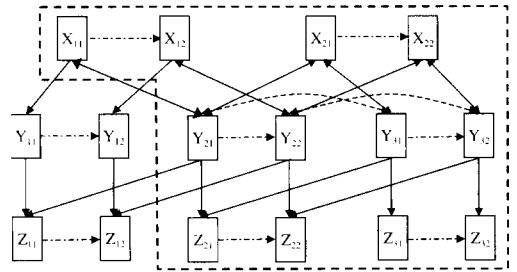
[그림 3] MRP에서의 상호의존 그래프

[그림 3]의 그래프는 MRP논리에서 계획순서상의 선후관계(precedence relationship)를 나타내는 것이다. 보통 MRP에서는 상위품목, 즉 수준(level)이 낮은 품목부터 계획을 진행하며 동일수준 내에서는 품목번호순으로 진행하며 동일품목 내에서는 첫 번째 기간부터 계획기간내의 마지막 기간까지 순차적으로 계획하게 된다. 즉, $X_{11}, X_{12}, X_{21}, X_{22}, Y_{11}, Y_{12}, Y_{21}, Y_{22}, Y_{31}, Y_{32}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{31}, Z_{32}$ 의 순서로 계획한다. 이는 위의 선후관계를 만족하는 순서임을 알 수 있다.

이상과 같이 가정을 도입하여 문제를 분할하는 것을 본 연구에서 “단순화(simplification)”이라고 부르겠다. 이렇게 단순화된 문제에 대해서 다양한 방법을 동원하여 의사결정을 하게 된다. 이때, 단순화된 문제의 구조가 우리가 가진 해법으로 해결 가능한 것이어야 한다. 위의 MRP에서는 복수개의 의사결정변수를 동시에 정해야 하는 문제가 없는

구조이므로 순차적인 계산만으로 값의 결정이 가능하다. 그러나 MRP의 가정이 성립하는 경우가 많기 때문에 그 동안 많이 사용되었던 것이고 일반적으로는 다양한 상황이 있을 것이다.

다음 예를 분석해 보자. [그림 1]에서 작업장 2의 능력이 절대적으로 부족한 경우를 가상하여 보자. 로트크기결정규칙은 MRP에서처럼 첫 단위기간부터 순차적으로 결정하려고 한다. 이 경우는 첫 수준 제품의 자재를 두 번째 수준에서 무조건 만족시킬 수 있으리란 가정은 할 수 없게 된다.

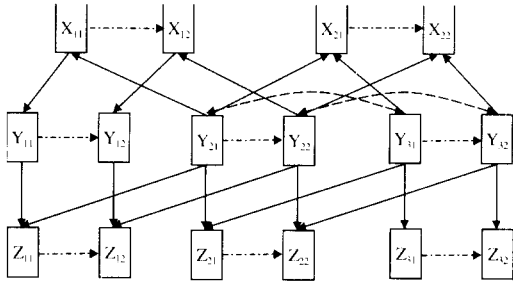


[그림 4] 자원 제약이 있는 경우의 상호의존 그래프

이 경우 점선 안에 있는 의사결정변수들 사이에 상호의존관계가 변하였다. 만약 더 이상의 가정을 도입하지 않는다면 이 문제는 $(X_{11}, X_{21}, Y_{21}, Y_{31}), (X_{12}, X_{22}, Y_{22}, Y_{32})$ 의 순으로 결정해 나가되 동일괄호로 묶여진 변수들은 동시에 결정하여야 한다. 그 다음은 MRP의 경우와 순서가 같다. 만약, $(X_{11}, X_{21}, Y_{21}, Y_{31})$ 나 $(X_{12}, X_{22}, Y_{22}, Y_{32})$ 을 동시에 결정할 수 있는 만족스러운 해법이 있다면 다행이지만 없으면 현실에 가장 가까운 새로운 가정을 도입하여 문제를 더 단순화하여야 할 것이다.

여기서 Y_2 와 Y_3 품목을 생산하는 작업장 2를 애로공정이라고 하고 이 공정의 활용도를 높이는 것을 최우선 과제로 하는 경우를 가정하여 보자. 여기서 다른 작업장의 능력에는 상대적으로 여유가 있다고 가정된다. 작업장 1의 사정은 무시하고 작업장 2의 계획을 작성하게 되겠는데 이때 작업장 2의 소요량은 외부로부터 받은 수주량이나 수요 예

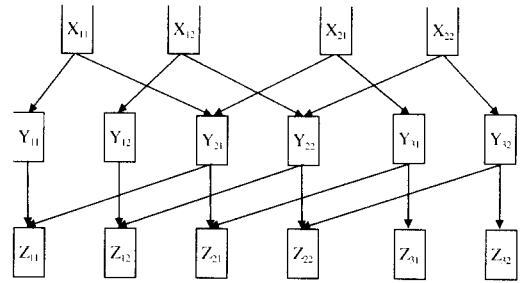
측량을 직접 사용하게 될 것이다. 그러면 [그림 4]에서 X_1 이나 X_2 의 생산계획에서 넘어오는 소요량은 작업장 2의 생산계획의 입력자료가 되지 않기 때문에 상호의존 그래프는 [그림 5]와 같이 된다.



[그림 5] OPT의 경우에 대한 의사결정 상호의존 그래프

의사결정순서는 $(Y_{21}, Y_{31}), (Y_{22}, Y_{32}), X_{11}, X_{12}, X_{21}, X_{22}, Y_{11}, Y_{12}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{21}, Z_{22}, Z_{31}, Z_{32}$ 로 하면 우선순위를 여기지 않는다. 물론 이 순서가 유일한 순서는 아니다. 이 예에서 제시한 구조가 예로 공정의 가동률을 극대화 시키는 것을 생산 계획의 목표로 삼는 OPT[6, 10, 23]에서 채택하고 있는 의사결정 순서이다.

다른 예를 하나 들겠다. Pull 전략의 생산시스템 [23]에서는 앞 공정의 의사결정은 뒷 공정의 실제 생산량이나 계획에 종속되지만 뒷 공정은 앞 공정의 재고나 계획을 고려할 필요가 없는 시스템이다. 이는 자재가용성이라는 제약조건을 제거하는 가정이다. 또 한가지 가정으로서 각 공정이 라인균형화가 잘 되어 있다는 가정을 하고 있기 때문에 생산능력의 제약조건을 제거하고 있다. 마지막으로 공정중의 재고를 정해진 양 이상은 허락하지 않기 때문에 기간들 사이로 넘어가는 재고량은 무시해도 된다. 따라서 서로 다른 기간의 생산이나 구매계획은 독립적으로 계획될 수 있다. 의사결정 상호의존 그래프는 [그림 6]처럼 되어 의사결정은 공정의 역순으로 이루어지게 된다. 물론 JIT시스템은 계획기능을 강조하고 있지는 않지만 계획기능이 필요한 경우에는 이런 순서를 따르게 될 것이다.



[그림 6] Pull 전략 생산시스템에서의 의사결정 상호의존 그래프

그러면 각각의 상호의존관계를 표시하는 화살표를 제거하기 위하여 현실적으로 많이 사용되는 가정에는 어떤 것들이 있는지 알아야 할 것이다. 또 하나의 문제는 위에서처럼 복잡한 상호의존관계 그래프에서 어떻게 의사결정의 순서와 동시결정여부를 판단하느냐 하는 것이다. 첫번째 문제는 2.2절에서 다루고, 두 번째 문제는 2.3과 2.4절에서 다루겠다.

2.2 단순화

의사결정 변수들간의 상호의존성 항목을 다시 나열 하면 다음과 같다.

- (1) 재고관련비용최소화/재고방정식 의존성
- (2) 생산능력의 제약 의존성
- (3) 자재공급상의 제약 의존성
- (4) 소요량 만족의 제약 의존성

위의 각각의 의존성에 대한 단순화 가정에 다음과 같다.

- (1) 재고관련비용의 최소화/재고방정식 의존성
 - (가) 재고관련비용의 최소화는 동일품목에 관련된 서로 다른 기간에서의 생산량의 결정에서 야기되는 비용에 관한 것이다. 여기서 가장 많이 도입되는 단순화방법은 근시안적인 의사결정방법을 채택하는 것이다. 근시안적이라는 것은 다른 기간의 결정과는 상관없이 향후 몇 기간동안의 수요와

전 기말재고, 그리고 각종 비용 매개변수를 고려하여 해당 기간의 생산량을 결정하는 것이다. 로트크기 결정에 자주 사용되는 part-period balance 방법, least-unit cost 방법, least-period cost 방법, period-order quantity 방법 등이 모두 여기에 속한다.

(나) 재고방정식으로부터 오는 다음 기간 생산량에 대한 제약은 다음과 같은 가정을 도입하는 경우에 제거될 수 있다. 첫째, 공정체류시간(flow time)이 짧아서 전체 생산량에 비해서 재고량의 비율이 너무 작기 때문에 생산계획시에 재고량을 무시하여도 큰 차이가 없다고 가정한다. 둘째, 공정 중의 재고를 최소한으로 유지하려는 생산 전략으로 재고량이 최소한으로 유지되어 그 변화를 무시할 수 있다고 가정한다. 셋째, 재고가 일정한 양으로 계속적으로 유지된다고 여겨져서 그 변화가 없다고 가정할 수 있다.

(2) 생산능력의 제약 의존성

(가) 기존의 MRP논리에서는 생산량을 결정할 때, 생산능력을 고려하는 대신에 주일정계획(Master Production Scheduling, MPS) 단계에서 대략적 능력계획(Rough-cut capacity planning)을 수행하여 MPS의 수행가능성을 점검하여 본다는지 MRP전개 후에 능력소요계획(Capacity Requirement Planning, CRP)으로 부하를 점검하여 보는 수준에서 그치고 있다. 이 경우는 반복적으로 MPS를 수정하는 방식이기 때문에 능력의 제약을 고려하지 않고 있다고 볼 수 있다.

(나) 생산능력을 고려하는 경우는 OPT의 경우처럼 애로공정을 찾아 애로공정에 대해서 우선 생산계획을 수행하고 다른 공정에 대해서는 애로공정의 계획을 보조하는 방식으로 계획하게 된다. 즉, 타 공정에 대해서는 능력에 제한이 없다고 가정하는 것이다.

(3) 자재공급상의 제약 의존성

(가) 자재공급에는 문제가 없을 것이라고 가정하는 것이 첫번째 방법이다. MRP가 대표적으로 이런 가정을 도입하고 있다. 그러나 하위단계 품

목의 계획 중에 예상되는 자재부족 문제나 납품기간 부족 등의 문제는 MRP전개상의 어려운 난제로 여겨지고 있다.

(나) 전후 공정 사이에 충분한 양의 완충재고가 있어서 자재 부족을 생각할 필요가 없는 경우를 생각할 수 있다.

(4) 소요량 만족의 제약 의존성

(가) 앞 공정에서 완성된 부품을 뒷 공정에서 발주하는 방식으로서 재발주점(reorder point method) 방식을 사용하는 경우, 뒷 공정에서 보통 선행시간 동안의 소요량을 발주시점에서 재고로서 보유하게 된다. 따라서 앞 공정에서는 뒷 공정의 생산계획을 고려함이 없이 생산계획을 작성할 수 있기 때문에 두 공정은 재고에 의해서 분리되어 있다고 하고 이때는 소요량 제약을 고려할 필요가 없게 된다.

(나) 중간공정이 애로공정이 된 경우처럼, 계획의 순서상 중간공정 부터 계획을 하게되는 경우에는 후속공정으로부터 계획되어진 소요량을 이용할 수 없게 된다. 이런 경우에는 사용할 수 있는 자료를 이용하여 중간 공정 품목에 대한 소요량을 추정하여 사용할 수 밖에 없다.

위와 같은 가정들이 도입되어 복잡한 상호의존관계가 단순화되게 된다. 다음에는 이렇게 단순화된 상호의존관계 그래프를 이용하여 어떻게 의사결정 순서를 정하고 각 단계에서의 해결대상문제를 파악할 것인가에 대하여 논의하기로 하자.

2.3 부문제 찾기

앞 장에서 소개한 것처럼 다양한 가정을 도입하여 복잡한 상호의존그래프가 어느 정도 단순화되었다고 하자. 이 그래프의 구조를 분석하여 어떻게 의사결정순서를 정하고 각 단계에서의 의사결정문제가 무엇인지 어떻게 파악할 것인지를 살펴보자.

우선 주어진 상호의존관계 그래프는 마디(node)와 화살표(arc)로 구성된 방향있는 그래프(digraph)이다. 이 그래프를 분석하여 그래프 이론에서 말하

는 SCC(Strongly Connected Component)를 찾을 수 있다. 여기서 두개의 노드가 동일SCC에 속한다는 말은 두 노드사이에는 서로 오고 갈 수 있는 경로(path)가 존재한다는 것을 의미한다. 어떤 문제를 그래프로 나타냈을 때, 두개 이상의 노드가 하나의 SCC에 속할 때에는 그들 노드에 해당되는 의사결정변수들이 동시에 결정되어야 한다는 것을 의미한다. SCC를 찾는 자세한 절차는 아래에 정리하였는데 이는 Aho의 2명[2]의 내용을 기반으로 재편성한 것이다.

아래의 절차는 기본적으로 깊이우선(depth-first) 탐색절차를 따르고 있다. $VS(i)$ 를 탐색과정상 노드 i 에 대한 방문순서를 나타낸다고 하고 $SVS(i)$ 를 노드 i 와 노드 i 의 후손노드들(descendants)로부터 나가는 아크(arc)에 연결된 이웃 노드들의 VS 값 중 가장 작은 값이라고 하자. 즉, $SVS(i) = \min \{VS(i) \cup \{VS(j) \mid \text{노드 } i \text{나 그 후손노드들로부터 노드 } j \text{로의 아크가 존재한다}\}$. 그러면 SCC를 찾는 절차는 아래와 같이 정리할 수 있다.

단계 0 : (초기화) $IS = 0$. 단계 1로 간다.

단계 1 : (초기 노드의 설정) 그래프로부터 초기 노드를 무작위로 선택한다. 더 이상 노드가 없으면 멈춘다. 아니면 $IS = IS + 1$, $VS(i) = IS$, $SVS(i) = VS(i)$. 단계 2로 간다.

단계 2 : (다음 자식노드의 고려) 만약, 자식노드(child node)가 하나도 없으면 단계 5로 간다. 만약, 다음 자식노드가 이미 방문한 적이 있는 노드(old child node)이면 단계 4로 가고 아니면 단계 3으로 간다.

단계 3 : (새 자식노드) 자식노드로 간다. $IS = IS + 1$, $VS(i) = IS$, $SVS(i) = VS(i)$. 단계 2로 간다.

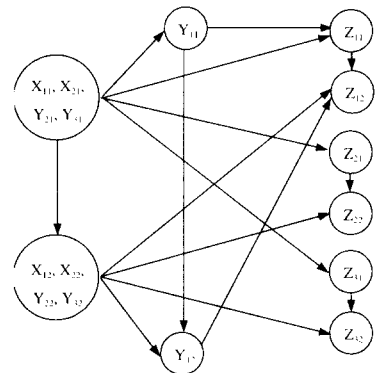
단계 4 : (기 방문 자식노드) $SVS(i) = \min \{SVS(i), VS(\text{old child node})\}$. 단계 2로 간다.

단계 5 : (뿌리노드의 파악과 SCC의 확정)

만약 $VS(i) > SVS(i)$ 이면 단계 6으로 간다. 아니면 현 노드가 뿌리노드(root node)이다. 현 노드와 현 노드의 후손 노드들이 모두 하나의 SCC를 구성한다. 발견된 SCC에 속한 노드들을 그래프에서 제거 한다. 단계 6으로 간다.

단계 6 : (역행 추적(backtracking)) 상위의 부모노드가 있는지 점검한다. 없으면 단계 1로 간다. 있으면 부모노드로 가고 $SVS(i) = \min \{SVS(i), SVS(\text{직전 방문 자식노드})\}$ 로 한다. 단계 2로 간다.

[그림 7]은 [그림 4]에 대하여 위의 SCC 찾는 절차를 적용한 결과이다.



[그림 7] [그림 4]의 예에 대한 SCC그래프

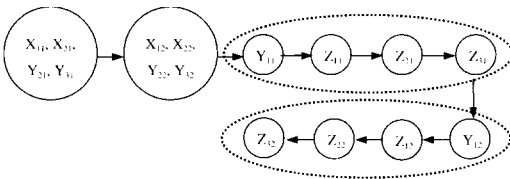
2.4 전체 의사 결정 순서 정하기

위의 SCC 탐색 결과 그래프는 [그림 4]보다는 간단하지만 여전히 복잡하고, 전체적 의사 결정 순서를 결정하는데 여러 가지 대안이 존재하기 때문에 쉽게 결론을 내릴 수 없다. 그러나 품목 구조와 공정 구조의 복잡성, 논리의 반복 사용성, 논리 전개 특성 등 현실적인 문제들을 고려하여 불필요한 경로를 제거한다면 SCC 그래프에 대해 일차원으로 나열하여 전체적인 의사결정 순서를 정할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 SCC 그래프를 일차원으로 나열하는 방법으로 아래의 두 가지로 제시한다.

가) 기간별 그룹화

이 경우는 SCC들을 기간별로 그룹을 나누어 한 기간씩 앞으로 또는 뒤로 나가고, 기간별 그룹 내에서는 품목레벨에 따라 상위 품목레벨에서 하위 품목레벨의 생산로트크기까지를 결정하거나, 공정레벨로 나누어 상위 공정에서 하위 공정까지 생산로트크기를 결정해 나가도록 하는 방법이다. [그림 7]의 예에 대해 이 방법을 적용하면 아래 [그림 8]과 같은 의사 결정 순서가 나온다. 기간별로 그룹화 된 단일 SCC노드들은 (Y₁₁, Z₁₁, Z₂₁, Z₃₁)와 (Y₁₂, Z₁₂, Z₂₂, Z₃₂)이고 전체적 의사결정순서는 (X₁₁, X₂₁, Y₁₁, Y₂₁), (X₁₂, X₂₂, Y₁₂, Y₂₂), (Y₁₁, Z₁₁, Z₂₁, Z₃₁), (Y₁₂, Z₁₂, Z₂₂, Z₃₂)가 된다.



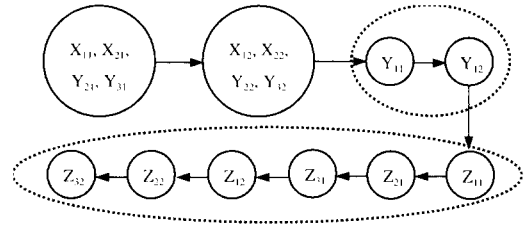
[그림 8] 기간별 그룹화

이 방식은 SCC들의 품목레벨 또는 공정레벨이 단순하고, 그 수가 적어 BOM 정보를 읽는 데 시간 소요가 적거나, 기억 장소 공간을 많이 차지하지 않아 적은 수의 변수를 물리적 저장 공간에서 여러 번 읽는 것보다 한꺼번에 읽어 처리하는 것이 좋을 경우에 유리할 것이다.

나) 동일레벨별 그룹화

이 경우는 동일품목레벨 또는 동일공정레벨에 상응하는 SCC들로 그룹화하거나 동일공정에 속하는 SCC들로 그룹화하는 방법으로 동일레벨 그룹에서는 기간별로 한 기간씩 진행하면서 생산로트크기를 결정해 나가도록 하는 방법으로 일반적인 경우이다. 마찬가지로 [그림 7]을 예로 단일 SCC들을 동일품목/공정레벨로 그룹화하여 배열한 결과가 아래 [그림 9]이다. 동일품목레벨별 그룹들은 (Y₁₁, Y₁₂)와 (Z₁₁, Z₂₁, Z₃₁, Z₁₂, Z₂₂, Z₃₂)이고 (X₁₁,

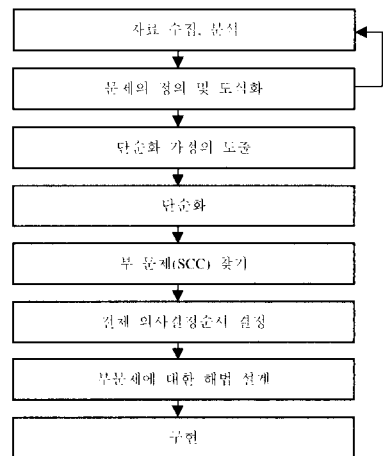
X₂₁, Y₁₁, Y₂₁), (X₁₂, X₂₂, Y₁₂, Y₂₂), (Y₁₁, Y₁₂), (Z₁₁, Z₂₁, Z₃₁, Z₁₂, Z₂₂, Z₃₂)의 순서로 의사 결정이 이루어 진다.



[그림 9] 동일품목레벨 그룹화

이 경우에는 동일설비 또는 동일품목레벨에 대해 동일한 논리를 반복적으로 적용할 수 있거나, 이전 또는 다음 기간의 정보가 필요한 경우로 물리적 저장공간에서 읽는 것보다 기억 장소에 들고 있는 것이 유리한 경우며, 품목레벨이 깊거나 복잡해 BOM 정보를 단계별로 처리하는 것이 용이하며 그 횟수를 줄일 수 있는 경우이다.

이제 남겨진 단계는 작은 부문제(SCC)의 해결 방법인데, 단순화로 나올 수 있는 부문제들은 기존 연구에서 거론되어 왔던 조금 더 단순화된 생산로트크기결정문제로 기존 연구에서 제시된 발견적 기법을 바로 또는 단계별로 부문제의 특성에 따라 적용함으로써 해결할 수 있을 것이다. 필요하다면 보다 현실에 맞는 기법을 개발하는 것도 좋을 것이다



[그림 10] 단순화 분석 기법 절차

이상에서 서술한 단순화 분석기법의 내용을 정리한 절차가 위의 도표에 나타나 있다. 다음 장에서는 이상에서 제시된 방법론이 실제 생산 계획 논리를 설계하는 과정에서 어떻게 활용될 수 있는지를 실제 사례를 통하여 설명하고자 한다.

3. D자동차 부품공급업체에 대한 사례 연구

3.1 사례업체의 현황

연구의 대상으로 하는 업체는 자동차 조립업체인 H사의 1차 협력업체인 D부품업체로서 대략 45종의 제품을 생산하고, 하루에 제품에 따라 10-1000개 정도를 출하하고 있다.

대상업체는 품목, 공정의 성격과 수요측면에서 다음과 같은 특성을 가지고 있다 :

1) 생산공정이 흐름생산 형태이다. 공정은 [그림 11]과 같이 재단, 프레스, 용접, 도장, 조립라인으로 구성된다. 원자재인 코일은 재단을 한 후 프레스라인에서 가공되는데, 이때 금형만 교환하면 동일한 라인에서 다양한 프레스품목을 생산할 수 있다. 프레스라인을 거친 품목은 외주부품과 함께 용접라인에서 용접이 된 후 도장라인으로 들어간다. 도장라인을 거친 품목은 조립라인을 거치면서 여러 품목으로 조립되어 출하된다. 그러나 한 라인에 여러 가지 품목이 흐르고 하루 몇 차례의 품목교체가 있다. 용접이후의 공정에는 준비시간은 무시할 정도이지만 프레스 및 그 이전 공정에서는 금형교환 등이 있으므로 준비비용이나 준비시간이 적지 않게 소요된다.

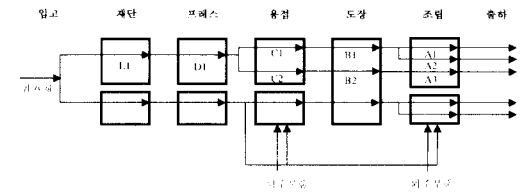
2) 생산관리의 주요 대상품목은 완성품인 조립품과 그것을 만드는데 소요되는 주요 부품이다. 다른 부수적인 부품들은 외주로 제조되므로 본 연구에서 제외한다.

3) 품목은 상위품목으로 갈수록 분리된다. 원자재가 재단, 프레스, 용접을 거치면서 몇 종류로 나뉘고 용접품은 조립품과 일대일로 대응되거나 또

는 선택사양에 따라 몇 가지의 서로 다른 조립품으로 나뉜다.

4) 중간공정인 용접공정이 애로공정이다. 투자비용이 가장 많이 들어 소요능력에 가장 가깝게 설계되어 있으므로 100% 가동률로 작업을 하고 있으며 생산관리에 집중적인 관리 대상이 된다.

5) 고객사의 조립라인에서 투입부품의 부족방지가 가장 중요한 목표이다.



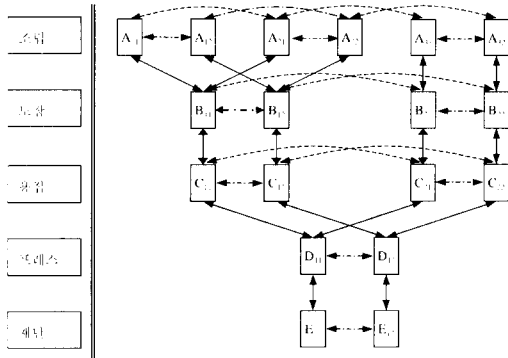
[그림 11] 대상업체의 공정 및 품목구조

3.2 생산로트크기 결정문제의 분석과 단순화

위에서 서술한 특징으로 볼 때 대상업체는 목적함수는 부족비용, 작업준비비용, 재고유지비용의 합을 최소화하는 것이고, 제약조건으로는 재고방정식, 자재 제약, 능력 제약, 소요량만족 제약으로 4가지 상호의존성을 모두 고려해야 한다.

[그림 12]는 대상업체의 원래 생산계획문제의 의사결정변수들의 상호의존관계를 도시한 것이다. 계획기간을 두 기간으로 간략하게 하였고, 품목도 대상업체의 일반적인 품목구조를 표현할 수 있을 만큼 그 수를 작게 하였다. [그림 11]에 따르면 용접물 C1과 C2, 도장물 B1과 B2, 조립물 A1, A2, A3가 동일한 설비에서 가공되므로 동일기간 생산량에 대해서 서로 동일한 생산능력에 제약을 받고 있으므로 상호의존적이라고 할 수 있다. 그리고 동일한 품목의 서로 다른 기간의 생산량 사이에는 재고비용과 재고 방정식 관련 상호의존성을 가지고 자재공급과 소비 관계를 갖는 상위 품목들 사이에는 자재 공급상의 의존성을 가지므로 [그림 11]에서 기호로 나타난 품목들에 대한 상호의존 그래프는 [그림 12]와 같이 그려질 수 있다.

그러면 단순화 분석기법의 절차대로 대상업체의 특성에 따른 가능한 가정 및 현실적 제약을 도입하여 [그림 12]의 원래 문제의 상호의존그래프를 단순화하겠다.

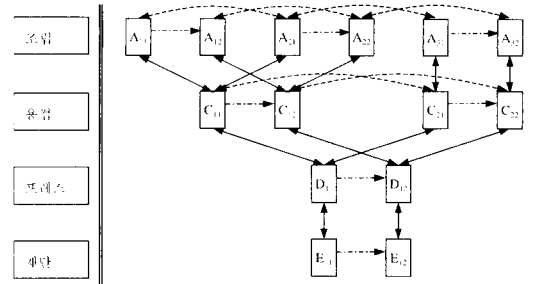


[그림 12] 대상업체의 의사결정 변수들의 상호의존그래프

(1) 재고관련비용을 최소화하기 위해 기간별 생산로트크기를 결정하는데 근시안적인 방법을 쓴다. 즉, 앞 기간부터 시작하여 순차적으로 생산로트크기를 결정해 나가되, 뒤에 따르는 몇 개의 기간의 수요를 고려하여 의사결정을 내린다. 이 과정에서 재고 방식식에 근거한 재고량의 기간별 상호 관련성을 고려하여 다음 기간의 초기 재고량을 계산해 간다. 이런 점을 고려하면 [그림 12]의 양방향 일점쇄선 화살표는 모두 오른쪽 방향의 단방향 화살표로 바꿀 수 있다.

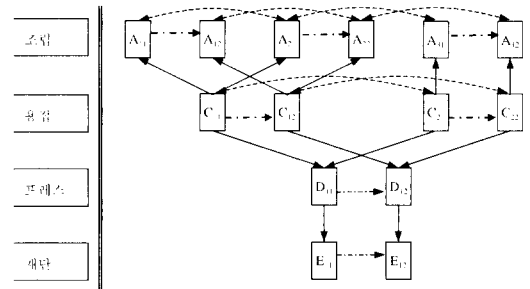
(2) 도장공정의 생산은 용접공정의 진행에 따라 피동적으로 결정되고, 도장공정과 용접공정간에는 체류시간이 짧아서 재고도 없다. 또한, 도장공정의 생산능력도 여유가 있기 때문에 도장공정의 의사결정변수들의 존재는 무의미하다. 따라서, 도장공정의 의사결정변수들을 제거하면 [그림 13]처럼 된다.

(3) 용접공정이 유일한 애로공정이다. 따라서, 고객사로부터의 수요를 용접공정에서 바로 받아 계획을 수행한다면 [그림 14]처럼 조립공정의 소요량에 대한 의존관계를 제거할 수 있다. 그리고 프레스공정과 그 이전의 공정은 이후 공정의 수요를 만



[그림 13] 로트크기 결정 방법과 도장공정 의사결정 과정을 고려한 상호의존 그래프

족시킬 수 있는 충분한 생산능력을 갖추고 있다고 가정할 수 있다고 판단되었다. 따라서 용접공정 이전의 공정이 뒷 공정의 자재공급 제약조건으로서 역할을 하지 않는다는 것이다.



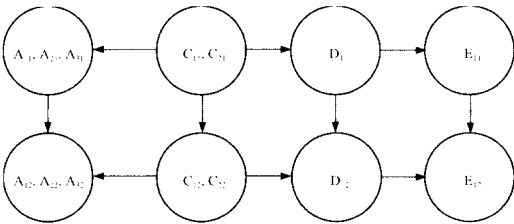
[그림 14] 소요량 및 자재제약 의존성을 제거한 상호의존 그래프

3.3 전체의사결정순서의 결정 및 부문제의 파악

그 다음은 [그림 14]와 같은 단순화된 의존그래프에서 부문제들을 찾는 것인데 그 결과 [그림 15]과 같은 SCC그래프를 얻었다.

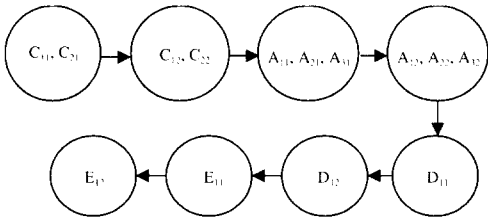
[그림 15]를 보면 각각의 SCC들은 동일기간, 동일작업장을 공유하는 품목들의 의사결정변수들이 서로 연결되어 단일설비에서의 생산로트크기결정문제를 형성한다는 것을 쉽게 알 수 있고, 용접공정의 SCC들의 화살표 방향이 상위공정인 조립공정과 하위공정인 프레스공정으로 향하는 것으로 용접공정의 SCC에 대해 먼저 의사결정을 내려야

한다는 것으로 해석할 수 있지만 여전히 이들 문제 상호간의 의사결정순서는 정해져 있지 않은 상태이다.



[그림 15] 사례에 대한 SCC 그래프

[그림 16]은 2절에서 제시한 전체의사결정순서를 정하는 그룹화 방법들 중 동일공정레벨별로 그룹화하여 나열한 것이다. 그림에 따르면 먼저 애로공정인 용접공정에 대해 라인별로 선계획기간동안 계획하고, 그 다음 애로공정의 상위공정계획, 애로공정의 하위공정계획을 하는 것이다.



[그림 16] 전체 의사 결정 순서

본 사례연구에서 [그림 16]처럼 동일공정레벨별로 그룹화하여 나열한 이유는 첫째, SCC들이 설비별로 묶여져, 비슷한 특성의 설비들로 이루어진 동일공정레벨별로 그룹화하면 동일레벨의 SCC에게 동일논리를 반복하여 적용하면 프로그램하기에 편리하고, 둘째로 재고방정식에 의하여 앞뒤 기간 사이의 생산량과 재고량이 상호관련을 가지는데 동일레벨의 품목들에 대해서 전체 계획기간 동안의 생산량을 먼저 결정하는 것이 정보를 저장하는 공간을 절약할 수 있다는 이유도 있었다.

일단 [그림 16]에 의해서 의사결정 순서가 결정된 다음, 도출된 부문제들 하나하나를 어떻게 해결

하느냐를 결정하여야 한다. 사례회사의 경우에는 (C1, C2)의 양을 우선 결정하여야 한다. 첫 기간의 수주 정보를 이용하여 담당자가 사용하고 있던 발견적 기법으로 생산량을 결정하도록 하였다. (C1, C2)는 재고방정식을 이용하여 (C1, C2)로 부터 구할 수 있는 초기재고 정보와 두번째 기간의 수주 정보, 그리고 동일한 발견적 기법을 이용하여 결정할 수 있다. (A1, A2, A3)은 (C1, C2)에 대한 의사결정 값을 자재에 대한 제약으로 하여 나름대로의 발견적 기법을 이용하여 결정하게 된다. 이와 같은 방식으로 다음 단계의 부문제들을 하나 하나 해결해 가면 전체 문제에 대한 해를 구할 수 있게 된다.

사례회사에서 구현된 프로그램으로 작성한 생산계획의 예가 [그림 17]에 나와있다. 각 공정별로는 동일한 형태의 출력물을 가지므로 본 논문에서는 애로공정인 용접라인 하나에 대하여 특정기간 동안의 생산 계획을 예시 하였다. 화면에는 각 품목별로 향후 예상 출하량(영업계획)이 제시되어 있고 로트크기 결정규칙을 적용한 결과 얻어진 하루당 생산량이 나타나 있다(용접계획). 그 결과 부품 생산업체의 창고에 보유하게 될 완제품재고도 주어지게 된다(예상재고). 하단에는 생산계획에 따른 부하와 라인의 보유능력을 비교하여 보여 주고 있는데 이는 잔업과 철야작업 여부를 결정하는 자료로 활용된다. 공정별 생산로트크기 결정을 위한 발견적 기법은 참고 문헌[1]에 서술되어 있다.

주간용접생산계획		1/23		1/24		1/25		1/26		1/27		1/28		1/29	
품목번호	수량	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30	1/31	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27
55540-5402	용접계	650	632	498	240	0	528	360	2818						
55540-3500	용접계	389	281	432	144	0	312	384	1848						
55540-9732	용접계	168	192	192	96	0	216	216	1080						
55540-9712	용접계	8	168	0	0	0	0	0	144						

[그림 17] 사례회사 용접라인의 생산계획화면

본 논문에서는 문제의 해결과정을 간단한 예를

이용하여 쉽게 설명하였지만 많은 품목을 대상으로 이 문제를 해결하는 것은 간단한 문제가 아니며 이 해법은 현재 프로그램으로 구현되어 현장에 사용되고 있다.

4. 결 론

생산로트크기 결정에 관한 기존의 연구들은 대부분이 잘 정의된 단위문제에 대한 해법을 개발하는데 치중되어 있었다. 그러나 현장의 생산계획업무에 도움을 주는 전산시스템을 개발하기 위해서는 우선 생산계획의 전과정을 분석하여 그 의사결정과정을 설계하고, 각 의사결정 단계에서 해결해야 하는 의사결정 단위 문제들을 도출한 후 도출된 각 단위문제별로 어떤 방식으로 해를 구할 것인지를 생각하는 것이 순서라고 보인다.

본 연구에서는 과거의 연구문헌에서는 생산로트크기 결정문제라고 불리우는 문제들에 대해서 이를 적용하기 위하여 사전에 어떤 분석이 필요하고 그 분석결과를 문제의 도출에 어떻게 이용할 수 있으며 현장의 특수한 상황을 활용하여 복잡한 문제를 어떻게 단순화할 수 있는지에 대해서 묘사하였다. 문제의 단순화를 위하여 도입되는 가정들에는 어떤 것들이 있으며, 우리가 익히 알고 있는 기존 생산관리 시스템들에는 이들 중에서 어떤 가정들이 도입된 것인지를 설명하였다. 본 연구에서 제시한 절차를 사례회사에 적용한 결과도 함께 제시하였다.

본 연구는 생산로트크기 결정문제에 대하여 전형적인 분석도구를 제시함과 아울러, 현장문제 접근을 위한 체계적인 과정을 제시하였다는데 의의를 찾을 수 있다고 할 수 있다. 특히, 본 연구의 절차를 사례회사에 적용해 본 결과, 문제의 파악과 소프트웨어의 기능 설계과정에 큰 도움이 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

앞으로 생산관리분야의 이론적인 많은 연구 결과들을 더 효과적으로 현장에 적용할 수 있기 위해서는 단위 문제에 대한 해법의 연구에만 머물 것이

아니라, 현장문제를 전체적으로 파악하는 것으로부터 시작하여, 이를 효과적으로 해결하기 위한 체계적인 절차를 제시하고, 전체 의사결정과정속에서 발견되는 단위문제들을 발굴하여 이를 기존의 이론적인 모델들과 연결시키는 위에서부터 출발하는 방식(Top-down approach)에 대한 관심과 노력이 더욱 요구된다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 김갑환, 박순오, 김기영, 옥충석, “흐름생산방식의 자동차 부품업체를 위한 생산계획 시스템 개발”, 「산업공학 Interfaces」, 제11권 2호 (1998), pp.1-11.
- [2] Aho, A.V., J.E. Hopcroft, and J.D. Ullman, *The Design and Analysis of Computer Algorithms*, Addison-Wesley Publishing Company, 189-195. 1974.
- [3] Baker, K.R., P. Dixon, M.J. Magazine, and E.A. Silver, “An Algorithm for the Dynamic Lot-size Problem with Time-varying Production Capacity Constraints,” *Management Science*, Vol.24, No.16 (1978), pp.1710-1720.
- [4] Billington, P.J., J.O. McClain, and L.J. Thomas, “Heuristic for Multi Level Lot-sizing with a Bottleneck,” *Management Science*, Vol.32, No.8 (1986), pp.989-1006.
- [5] Billington, P.J., J. Blackburn, J. Maes, R. Millen, and L.V. Wassenhove, “Multi-item Lot-sizing in Capacitated Multi-stage Serial Systems,” *IIE Transactions*, Vol.26, No.2 (1994), pp.12-18.
- [6] Cohen, O., “The Drum-Buffer-Rope (DBR) Approach to Logistics,” *ComputerAided Production Management*, Edited by A. Rolstadas, Springer-Verlag, 1988.
- [7] Dixon, P.S. and E.A. Silver, “A Heuristic Solution Procedure for the Multi-item,

- Single-level, Limited Capacity, Lot-sizing Problem," *Journal of Operations Management*, Vol.2, No.1 (1981), pp.23-39.
- [8] Dogramachi, A. and J.C. Panayiotopoulos, "The Dynamic Lot-sizing Problem for Multiple Items under Limited Capacity," *AIIE Transactions*, Vol.13, No.4 (1981), pp.294-303.
- [9] Gascon, A. and R.C. Leachman, "A Dynamic Programming Solution to the Dynamic, Multi-item, Single-machine Scheduling Problem," *Operations Research*, Vol.36, No.1 (1988), pp.50-56.
- [10] Jacobs, F.R., "OPT Uncovered : Many Production Planning and Scheduling Concepts can be Applied with or without the Software," *Industrial Engineering*, October (1984), pp.32-41.
- [11] Karni, R. and Y. Roll, "A Heuristic Algorithm for the Multi-item Lot-sizing Problem with Capacity Constraint," *IIE Transactions*, Vol.14, No.4 (1982), pp.249-296.
- [12] Kimms, A. and A. Drexl, "Multi-Level Lot Sizing : A Literature Survey," *Working Paper No.405*, University of Kiel, 1996.
- [13] Kuik, R., M. Salomon and L.V. Wassenhove, "Linear Programming, Simulated Annealing and Tabu Search Heuristic for Lot sizing Bottleneck Assembly systems," *IIE Transactions*, Vol.25, No.1 (1993), pp.62-72.
- [14] Lambrecht, M.R. and J.V. Eecken, "A Facilities in Series Capacity Constrained Dynamic Lot-size Model," *European Journal of Operational Research*, 2 (1978), pp.42-49.
- [15] Lambrecht, M.R. and H. Vanderveken, "Heuristic Procedures for the Single Operation, Multi-Item Loading Problem," *AIIE Transactions*, Vol.11, No.4 (1979), pp.319-326.
- [16] Leachman, R.C. and A. Gascon, "A Heuristic Scheduling Policy for Multi-item, Single-machine Production Systems with Time Varying, Stochastic Demands," *Management Science*, 34 (1988), pp.377-390.
- [17] Maes, J. and L.V. Wassenhove, "Capacitated Dynamic Lotsizing Heuristics for Serial Systems," *International Journal of Production Research*, Vol.29, No.6 (1991), pp.1235-1249.
- [18] Maes, J. and L.V. Wassenhove, "Multi-Item Single-Level Capacitated Dynamic Lot-Sizing Heuristics : A General Review," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.39, No.11 (1988), pp.991-1004.
- [19] Newson, E.P., "Multi-item Lot Size Scheduling by Heuristic. PART I : with Fixed Resources," *Management Science*, Vol.21, No.10 (1975), pp.1186-1193.
- [20] Newson, E.P., "Multi-item Lot Size Scheduling by Heuristic. PART II : with Variable Resources," *Management Science*, Vol.21, No.10 (1975), pp.1194-1203.
- [21] Silver, E.A. and M.C. Meal, "A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the Case of a Deterministic Time-varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment," *Production & Inventory Management*, 2nd Qtr. (1973), pp.64-74.
- [22] Sox, C.R. and J.A. Muckstadt, "Multi-item, Multi-period Production Planning with Uncertain Demand," *IIE Transactions*, 28 (1996), pp.891-900.
- [23] Vollmann, T.E., W.L. Berry, and D.C. Whybark, *Manufacturing Planning and Control Systems*, IRWIN, Fourth Edition, 1997.
- [24] Wagner, H.M. and T.M. Whitin, "Dynamic Version of the Economic Lot Size Model," *Management Science*, Vol.15, No.1 (1958), pp.89-96.

- [25] Wight, O., *MRP II Standard System*, Oliver Wight Limited Publications, 1989.
- [26] Williams, J.F., "Multi-echelon Production Scheduling When Demand is Stochastic," *Management Science*, Vol.20, No.9 (1974), pp.1253-1263.