

다품종 복수공장 생산에서의 생산 분배 및 수송 계획 문제연구

MULTI-PRODUCT, MULTI-SITE PRODUCTION AND TRANSPORTATION SCHEDULING PROBLEM

장 병 만

서울산업대학교 산업공학과

ABSTRACT

This paper presents a model and a heuristic procedure to design production planning and transportation scheduling systems of critical items, components and products on the basis of material requirement planning concept and transportation planning model. These systems are stemmed from a multi-site multi-product production company in a international economic zone. An example is provided to validate the heuristic procedure developed .

I. 研究目的 및 必要性

1. 연구목적

본 연구에서는 EC 통합, NAFTA(북미자유무역지대) 형성과 점차 가시 화되어 가고 있는 환동북아 경제권 등 세계 경제의 지역 블록화 경향에 대비하여, 국내 다수 기업체의 전략적이고, 국제경쟁력과 직접 연관된 생산 및 물류의 통합체제 강화를 위하여 다품종 복수 공장 생산에서의 생산 분배와 수송 계획 문제(Multi-Product Multi-Site Production and Transportation Scheduling Problem : MSPT)의 모델을 연구하고, 적합한 현실적인 기법(Heuristic Algorithm)을 개발하고자 한다.

MSPT 모델은 기본적으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 회사 내에서는 지역적으로 떨어져 있는 다수의 공장들이 있다.
- 하나의 공장에는 다수의 생산 단위(Production Unit)이 있다.
- 하나의 생산단위에서는 몇 가지의 부품생산이나 완제품조립을 할 수 있다.
- 같은 부품이나 제품을 여러 생산단위에서 만들 수 있으며 각 생산단위에서의 생산단가와 단위생산시간, 생산가동시간이 각각 다르다.
- 각 공장간에는 수송이 필요하며, 부품이나 제품별 수송단가가 서로 다르다.

MSPT 모델은 2개의 주요 문제를 고려해야 한다.

- 생산 및 수송의 비용과 시간을 고려하여 다수의 유사한 생산단위들에게 생산을 분배하는 문제
- 다수의 공장에 분산되어 있는 관련 생산단위들 간의 일관된 생산 및 수송 순서 계획 수립문제

2. 필요성

경제의 지역 블록화가 진행될수록 효율적인 공동생산과 이를 위한 물적 교류의 확대가 급속도로 진행되며 지역내의 상품과 서비스 교역이 급속히 증가하고, 이에 따른 재화와 화폐 및 사람들의 빈번한 이동은 많은 국가간의 경계를 실질적으로 소멸시켜 나갈 것이다. 이러한 환경 하에서 국내는 물론 한 경제블록내의 여러 나라에 걸쳐 다수의 부품 생산공장 과 제품 생산공장들을 두고, 다수의 관련 제품들을 제조하여 수요처에 공급하는 다품종의 복수 공장 생산에서의 생산 분배 및 수송 문제의 중요성이 지역경제권내의 많은 기업들에게 보편적으로 대두될 것이다.

다수의 생산지를 가진 기업들은 저노무비, 소비지에 근접한 생산지 확보, 보완 제품의 생산, 보다 나은 생산 조건, 효율적인 제품 수송과 마케팅 서비스 등의 효과를 높이며, 점차 고객 위주의 다빈도 소량 발주와 짧은 납기 등의 시장 경향에 쉽게 적용할 수 있게 된다. 제품의 다품종화의 증가로 기업은 부품 공급체에 많은 책임을 주게 되며, 실제 경쟁력은 납기 준수와 단납기 주문에 의한 높은 서비스 수준의 신뢰도가 좌우하게 된다. 그래서 다품종의 복수공장에서의 생산 및 수송계획 문제(Multi-Products Multi-Sites Production and Transportation Planning Problems : MSPT)는 경쟁력 유지를 위해 필수적으로 개선시켜야 하는 문제이다.

본 문제 모델은 국내에서도 다품종의 복수 공장 생산의 경우에 적용될 수 있으며, Logistics(물류관리)의 중요성이 점차 크게 대두되는 이 때의 국내의 상황에서 볼 때 생산 분배와 수송이 연결된 복합적인 MSPT 모델의 연구는 그 동안의 연구 동향이나 배경이 상당히 미비하였기에 필요하다고 사료된다.

3. 연구배경(研究背景)

전체 MSPT 문제에만한 연구문헌은 발견하기가 어려웠다. MSPT의 부분 문제에 관해 언급한 문헌은 다음과 같다.

Kim(1990)은 복수공장에서의 생산환경 하에서 폐쇄적 주문생산의 작업배정과 절차계획으로 3가지 rule인 MDD(Modified Due Dates) rule과 MOD(Modified Operation Due Date) rule과 ATC(Apparent Tardiness Cost) rule을 제시하고, 주문량의 크기와 절차 계획 rule을 실험하였는데, 최소 수정 납기의 대기 작업에 높은 우선 순위를 부여하는 MDD rule이 가장 좋은 결과를 제시하였다.

Egbelu(1990)은 다단계 제조시스템에서의 절차계획과 공정흐름에 대한 연구를 하여 총 배치 제조 시간의 최소화를 위해서 기계들 간에 가공과 수송하는 부품 수의 크기를 정하고, 배치의 최적 생산절차를 정하는 모델을 제시했다.

EC의 ESprit-project 5178(1991)에서는 독일의 AEG과 ISA, 이태리의 Magneti Marelli, 프랑스의 Bull과 Promip등이 연합하여 EC 통합 후 유사기업들이 통합 조정된 상태에서 다수의 공장들을 유럽전역에 가지게 되었을 때의 생산 분배와 수송 문제를 해결하기 위한 통합 생산 정보 시스템을 공동 연구로 구축 중에 있다.

II. 모형의 개발

1. 문제의 특성 분석

MSPT문제의 연구를 위하여 다음과 같은 가정을 둔다.

- 1) 같은 부분품은 생산공장이 달라도 제조와 수송에 소요되는 lead time이 동일하다.
- 2) 부품이나 부분품들은 module단위로 생산되어 서로 다른 부분품이나 완제품 생산에 사용된다.
- 3) 각 공장의 생산 능력이나 생산품종이 서로 다양하며, 같은 품종을 다른 몇 개의 공장들에서도 만들 수 있다.

본 문제는 다음과 같은 결정변수를 가지고 있다.

- 무엇(다품종의 완제품, 부분품, 부품)
- 언제(생산개시일과 기간)
- 얼마나(생산량, 수송량)
- 어디서(생산공장, 생산단위)

상기의 결정변수들의 값들은 생산 분배와 수송계획으로 나타나며, 이 계획은 생산비, 수송비, 재고비, 주문잔고비, 하청비등을 고려한 총비용의 최소화를 도모하는 계획이어야 한다. 또한 시간과 대고객 서비스 능력면에서 평가되어야 하며, 특히 공장간의 균형(Plant Balancing), 각 생산공장의 기술적 능력 등도 고려되어야 한다.

MSPT의 주요 제약 조건 식들은 각 생산단위의 생산 및 공급 능력 납기일과 각 부품, 제품의 소요량에 관한 것들이 된다. MSPT는 각 제품의 구조(Bill of Material)와 제품의 종류, 대상기간의 길이(Time Horizon), 처리시간의 단위등 때문에 계산 난이도(Complexity)가 대단히 높음으로, 본 문제의 구조를 잘 분석하여 MSPT 모델을 단순화시켜 나가되 현실성 있는 발견적 기법(Heuristic Method)을 개발하고자 한다.

2. 모형의 개념

본 문제의 제품, 부분품과 주요 부품들의 수, 생산단위(Product Unit : PU)의 수, 생산기간의 길이를 고려할 때 수리적 모형상의 변수의 수가 엄청나게 증가하게 됨으로, 정수계획법과 같은 최적해법질차로는 이 문제를 풀기가 어려워진다. 그러므로 다음과 같은 개념을 이용하여 근사최적해를 구하는 발견적 해법을 제시하고자 한다.

MSPT 문제는 필요한 다양한 부품이나 제품을 필요한 시기와 장소에 필요한 양만큼 생산해서 보내는 것이다. 그러므로 기본적으로 자재소요 계획(MRP)을 기본적으로 하여 생산을 하고, 각 부품의 생산공장과 그 수요처를 연결하는 것은 수송계획 모형을 이용하며, 완제품 생산에서부터 각 생산공장의 생산능력을 생산, 조달시간을 고려하여 할당하고, 축차적으로 낮은 level의 부품까지 생산능력이 남아 있는 생산공장이나 생산단위(Production Unit)에 할당하는 방법을 택하고자 한다.

이 문제에서는 주 또는 특정 기간 단위로 고객의 주문이 동일 경제권내의 여러 지역에서 발생하며, 특정 제품별 주문 수량과 납기가 정해지면, 이 제품들의 생산을 위해서 해당 생산기간에 각 공장별로 남아 있는 생산 능력에 제품조립, 부분품 및 부품 생산을 할당한다. 이 때 먼저 이 제품들의 납기를 기점으로 하여 자재 소요계획(MRP)법에 의해서 각 제품을 분해(Product Explosion) 시키고, 각 기간 단위로 각 부품이나 부분품들의 소요량을 같은 것끼리 합쳐서 자재소요계획표를 작성할 수 있다. 이 자재 소요계획표에서는 소요되는 부품이나 부분품들의 각 기간별 소요량이 나타나며, 각 소요부품이나 부분품들의 생산과 수송을 계획하기 위해서는 각 생산단위들의 공급량과 수요처(해당 부품의 수요가 있는 생산단위나

고객)의 수요량이 정해져야 하는데, 이때 이 공급량과 수요량은 최종 완제품에 대한 고객
의 수요량을 기준으로 하여 역으로 수송문제를 순차적으로 만들어 풀면서 구할 수 있다.

완제품을 생산할 능력이 있는 공장에 대하여 생산시점에서의 생산능력을 환산하여 구할
수 있는 완제품 생산 가능량을 그 제품 공급량으로 놓고 고객의 위치와 수요량을 참작하여
이를 수송문제로 만들면 공급량이 수요량보다 많은 비균형 수송문제(Unbalanced
Transportation Problem)이 되는데, 여기에 가상 수요처를 추가하여 표준 수송문제로 만들
어서 풀면 최종제품의 생산공장들과 각 생산량과 수송량을 구할 수 있다.

최종제품의 각 생산공장별로 완제품의 생산량에 이 제품의 생산에 소요되는 부분품의 단
위당 필요량을 자재소요계획표에서 구하여 곱하면, 이 양은 각 공장별로 다음 수준(level)의
부분품의 소요량이 된다.

이 부분품을 생산할 수 있는 공장들의 공급량은 납기를 고려한 생산시점에서의 생산능력
을 부분품 공급량으로 환산해서 구할 수 있으며, 이 부분품의 공급량과 소요량의 정보를 가
지고 비균형 수송문제를 만들고 여기에 가상 수요처를 추가하여 표준 수송문제로 만들면 해
당 부분품의 생산공장들과 생산량과 수송량 및 여유 생산능력을 구할 수 있다.

상기와 같은 절차를 모든 부품에 대해서까지 축차적으로 후진 방향으로 반복하여 종합하
면 모든 완제품, 부분품, 부품들에 대해서 생산, 수송 및 공급의 연결된 흐름을 구할 수 있
다.

이 수송계획문제들은 각 수준(level)의 부품이나 부분품이나 제품별로 하나씩 만들어지
며, 비용은 생산과 수송을 하는데 소요되는 단위 비용이 되며, 이 부품들이 다수의 단위기간
에 걸쳐 만들어져야 하면 재고를 고려하여야 하므로 비용은 생산과 수송과 재고유지를 하는
데 소요되는 단위비용이 된다.

III. 발견적 해법 개발

이 발견적 해법은 먼저 MRP program으로 각 제품의 주문량을 제품분해의 방법으로 전
개시켜 각 주별로 각 부품의 소요량을 구하는 것으로 시작한다. 그 다음 전 생산 기간에 걸
쳐서 각 생산단위(PU)에 부품, 부분품, 제품의 생산량을 단위생산비, 단위수송비나 생산 능
력 등을 고려하여 분배시킨다. 그러나 모든 제품에서 부품까지를 한꺼번에 분배하기가 어렵
기 때문에 제품, 부품, 부분품을 그 중요도에 따라 우선 순위를 매겨서, 중요도가 높은 것을
우선적으로 생산단위에 배정하고, 낮은 것은 그 다음에 배정하거나 하청을 주는 식으로 하
여 해결하며, 각 제품, 부분품 등에 대해서는 각각 자재소요계획표에서 구한 생산기간에서의
생산 및 수송계획을 세운다.

본 해법에서 제품이나 부품들의 중요도는 MRP상의 수준대로 하는데, 경우에 따라서는
이 중요도의 순서를 조정하여 더 좋은 해를 찾을 수도 있다.

각 제품이나 부품에 대한 생산 및 수송 계획은, 먼저 완제품에 대해서 세우고, 그 결과로
나온 각 생산단위별 생산량에 대해서 다음 수준(level) 부품들의 소요량들을 산정하게 되며,
또 각 생산단위들의 남은 생산능력을 파악하여 조정하며 다른 것들의 생산에 이용할 수 있
게 한다.

그 후에 다음 수준(level)의 부품 생산과 수송계획에 대한 모형을 세우고, 그 결과 나온
각 생산단위별 생산량으로 그 다음 수준의 부품들의 소요량을 산정하며, 각 생산단위의 남
은 생산능력을 파악한다. 이런 과정을 완제품에서부터 시작하여 최초 부품의 생산 및 수송
계획 수립까지 후진 방향으로 축차적으로 한다.

이때 각 제품이나 부품의 생산 및 수송계획 모형은 일반수송계획 모형을 이용한 것으로,
공급처는 해당 부품이나 제품생산을 할 수 있는 생산단위들로 하고, 수요처는 이 부품이나
제품을 필요로 하는 한 수준(level)위의 제품이나 부품의 생산단위들이 된다.

공급량은 공급처의 생산 능력을 해당 제품에 대한 단위생산시간으로 나누어서 구하며, 수요량은 한 수준 위의 제품의 생산량에 단위당 필요량을 곱하여서 구한다.

그리고 단위비용은 공급처 생산단위에서의 단위당 생산비와 공급처에서 수요 처까지의 단위당 수송비와 재고 비를 합쳐서 구한다.

각 부품이나 제품에 대한 생산 및 수송계획을 위한 MSPT의 수송문제모형은 수송 심플렉스법으로 최적 해를 구할 수 있는 것이다.

이 MSPT의 수송문제모형과 원래의 수송문제모형의 차이는 다음과 같다.

원래의 수송문제 모형	MSPT의 수송문제모형
1. 공급처(m 개)	해당기간(주) 중에, 해당부품의 생산능력을 가지고 있는 PU(m개)
2. 수요처(n 개)	해당기간(주) 중에 해당부품을 요구 하는 PU(n개)
3. 단위수송비 : C_{mn}	단위 생산 수송비 : C_{imn_l} = (PU m에서의 부품 i의 단위생산비) + (PU m에서 PU n으로의 부품i의 단위수송비) + (l 기간동안의 단위재고관리비)
4. m에서 n으로의 수송량 : X_{mn}	X_{imnl} : 부품 i를 PU m에서 PU n으로 l 주에 생산해서 수송하는 량
5. 표준수송문제	비균형 수송문제 (가상의 수요처나 공급처(하청)가 필요)

표 1. MSPT 수송문제의 특징

2. 해법절차

MRP와 TP(수송 계획)을 이용한 발견적 해법절차는 다음과 같다.

단계 1. 데이터 입력

- (1) PU고객과 주요 부품(critical items)의 수 (m, I)
- (2) 완제품의 납기 L 과 주문량 (d_{ij})
- (3) 각 PU m에서의 각 부품별 단위가공시간(C_{im}) 단위생산비(P_{im}) 주별가용생산시간(OH_{ml})
- (4) Bill of material(자재 명세서)와 부품 j 한 단위 생산을 위한 부품 i의 소요량 (B_{ij})
- (5) 각 부품i의 각 PU m과 n간의 단위 수송비 (t_{imn})

단계 2. 자재소요계획표 (MRP Tableau)작성

- (1) 모든 주문에 대해 제품분해(Product Explosion)를 전개함
- (2) 각 주별로 같은 부품의 소요량을 산정함

단계 3. 각 부품과 완제품들에 대한 처리 우선 순위(Processing Priority)를 정함

- (1) 완제품들과 높은 수준의 부품 우선처리 순서를 정함

단계 4. 계획이 수립되지 아니한 부품 가운데 가장 높은 우선순위의 부품을 선정함 해당 부품이 없으면 단계 8로 간다.

단계 5. 해당 부품에 대한 생산 수송계획모형을 세움

- (1) 공급처와 그 생산 능력을 파악하고 공급량을 계산함

$$PU\ m\ 의\ 공급량 = S_{iml} = \frac{OH_{ml}}{C_{im}}$$

- (2) 수요처와 그 수요량을 계산함
 $PU\ n\ \text{에서의 } i\ \text{주의 수요량} = D_{inj} = B_{ij} * S_{inj}$
- (3) 수송계획모형 각 Cell의 단위비용(UC_{imm})
 - ① 정상적인 생산과 수송의 경우
 $\text{단위비용} = \text{단위 생산비} + \text{단위 수송비} + \text{단위재고 유지비} * \text{재고 기간}$
 $UC_{imm} = PC_{im} + t_{im} + IC_i * I$
 - ② 하청의 경우
 $\text{단위비용} = \text{단위 하청비}$
 $UC_{imm} = SC_i$
 - ③ 가상의 수요처
 $\text{단위비용} = UC_{imm} = 0$

단계 6. 수송 심플렉스법으로 해상 부품에 대한 해를 탐색함.

- (1) 수송심플렉스법 적용
- (2) 부품의 총생산 및 수송비(Z_i)과 생산단위와 해상기간중의 수송 수량(X_{iml})
- (3) 각 생산단위 m 에서의 생산량 파악 $S_{iml} = \sum_n X_{nm}$

단계 7. 각 생산 단위(공급처)의 생산능력 조정

- (1) $OH_{ml} = OH_{ml} - (Ct_{im} * S_{iml})$
- (2) 단계 4로 간다.

단계 8. 각 부품의 생산 및 수송계획의 해를 종합하여 총괄적인 생산 및 수송계획을 수립함.

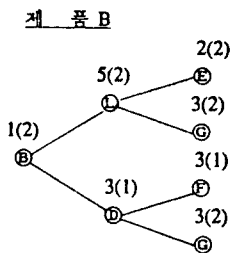
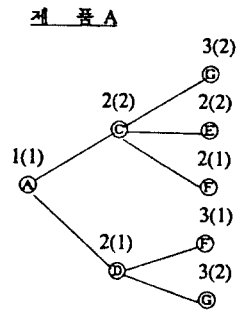
- (1) $Z^* = \sum_{i=1}^n Z_i$
- (2) 각 부품의 생산과 수송일정계획 Network를 작성함

IV. 적용예제

다음과 같은 예제의 MSPT 문제를 고려해보자

고객	제품	
	A	B
서울	100	100
동경	50	120
상해	50	80
총 수요	200	300
납기	6주째	8주째

(a) 각 고객별 주문량



3(2)
 * ⊙ : 부품 E는 3개가 2주째 생산 수송됨

(b) 제품별 구조

표 2. 고객별 주문량과 제품별 구조

공장	부품 P.U	A	B	C	D	L	E	F	G	주가시	간용시간
		공장 I	PU 11	1.5	2.0	0.5					
	PU 12	1.0		0.4	0.4	0.4			0.3	200	
	PU 13				0.5		0.6	0.3	0.3	300	
공장 II	PU 21		2.3	0.6		0.8			0.4	400	
	PU 22	1.5					0.4	0.2		200	
공장 III	PU 31	1.2	1.5			0.5	0.3			100	
	PU 32			0.5	0.6	0.5		0.4	0.4	200	
주당 단위 재고비		5	5	4	4	4	2	2	2		
단위 하청비		100	100	85	90	70	50	50	40		

표 3. P.U별 단위생산비, 주간가용시간, 단위가공시간

(a) 제품의 단위 수송비

To \ From	서 울	동 경	상 해	비 고
공장 I	5	15	8	Product A/B
공장 II	8	10	20	
공장 III	10	25	14	
수 요	100	50	80	

(b) 주요 부품의 단위 수송비

부품	to \ from		
	공장 I	공장 II	공장 III
C	0	5	7
D	6	0	10
L	10	12	0
E	0	3	5
F	4	0	7
G	6	8	0

표 4. 제품과 부품의 단위 수송비 표

주 부품	1 2 3 4 5 6 7 8								
	A	생산					200		
B	주문						300		
C	생산				400				
D	주문		400						
L	생산				400	900			
E	주문			400	900				
F	생산						1500		
G	주문								

표 4.1 예제의 자재소요 계획표

to from	고객 A(6주째)				Operable Capacity			
	서울	동경	상해	Hour	Cycle time	Amount Used	Rest Hour	
PU 11	50+5	50+15	50+8	120	1.5	80	0	
PU 12	56+5	56+15	56+8	200	1.0	200	70	130
PU 22	60+8	60+10	60+20	200	1.5	133	50	125
PU 31	55+10	55+25	55+14	100	1.2	83	0	100
Demand	100	50	50			496		

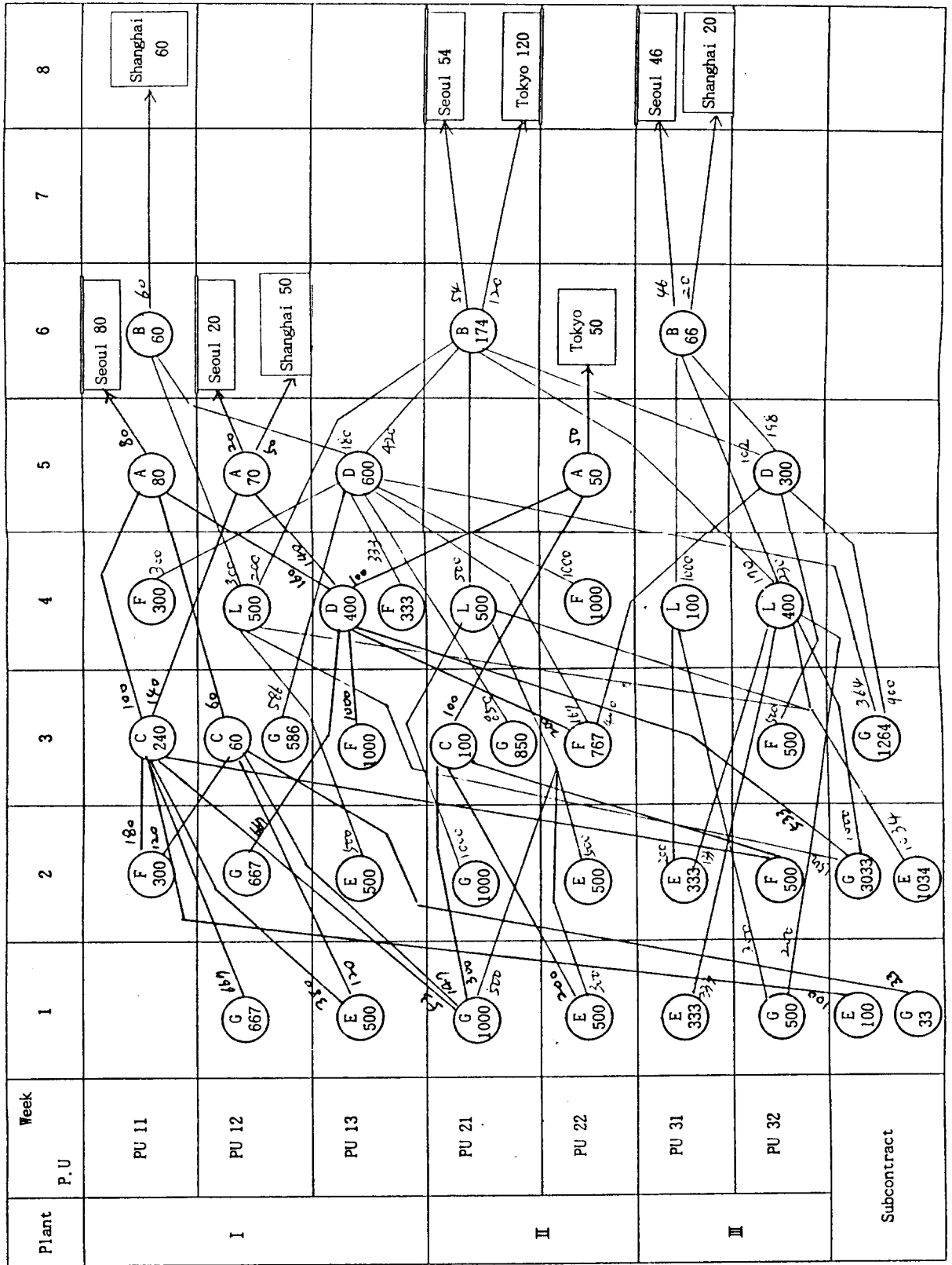
표 5. 제품 A를 위한 수송계획모형과 최적해

to from	부품 C 생산용 (3주째)			부품 C 생산용 (4주째)				Operable Capacity				
	PU 11	PU 12	PU 21	PU 12	PU 21	PU 31	PU 32	Hour	Cycle time	Amount used	Rest Hour	
PU 13	25+0	25+0	25+3	25+0+2	25+3+2	25+5+2	25+5+2	300	0.6	500	0	
	380	120										
1주째	23+4	23+4	23+0	23+4+2	23+0+2	23+7+2	23+7+2	200	0.4	500	0	
			200		300							
PU 31	21+6	21+6	21+8	21+6+2	21+8+2	21+0+2	21+0+2	100	0.3	333	0	
						333						
PU 13	99	99	99	25+0	25+3	25+5	25+5	300	0.6	500	0	
				500								
2주째	99	99	99	23+4	23+0	23+7	23+7	200	0.4	500	0	
				500								
PU 31	99	99	99	21+6	21+8	21+0	21+0	100	0.3	333	0	
						200	133					
하정	50	50	50	50	50	50	50	1134				
	100			500	200		334					
수요	240*2	60*2	100*2	500*2	500*2	100*2	400*2			2666		3800

수요가 생산능력보다 초과함으로 하정이 필요

표 5.1 부품 E의 생산 및 수송계획 모형과 최적해

표 6. 총괄 생산 및 수송계획표



V. 결론 및 추후방향

MRP와 TP를 이용한 MSPT의 발견적 해법을 개발하여 큰 문제를 상당히 효과적으로 풀이하여 생산 및 수송계획을 세울 수 있게 되었다.

앞으로의 연구방향으로는 LP를 이용한 최적해법의 개발과 lead time의 실제적인 처리와 처리우선순위의 조정에 의한 보다 나은 해를 구하는 방안들을 개발하는 것이 될 수 있다.

參 考 文 獻

1. Esprit-Project 5178, "Distributed Management and Coordination of Scheduling Systems in a Multi-Site Production Environment(DISCO) : Deliverable 1", (1991)
2. Egbelu, P.J. "Route selection and flow control in a multi-stage manufacturing system with heterogeneous machines within stages," Int. J. of Prod. Res. 1990.28.11, pp 2137-2155
3. Kim, Y-D. "A comparison of dispatching rules for job shops with multiple identical jobs and alternative routings," Int. J. of Prod. Res. 1990.28.5, pp 953-962
4. Foote B.L., Ravindran A. & Lashine S., "Production Planning & Scheduling : Computational feasibility of multi-criteria models of productions, planning and scheduling," Comp. Ind. Eng. 1988.15.4. pp 129-138