

석유화학공장의 생산계획 수립을 위한 수리모형정립

서울대학교 경영대학 교수 안 상 형

하나경제연구소 김 형 곤

I. 연구의 목표

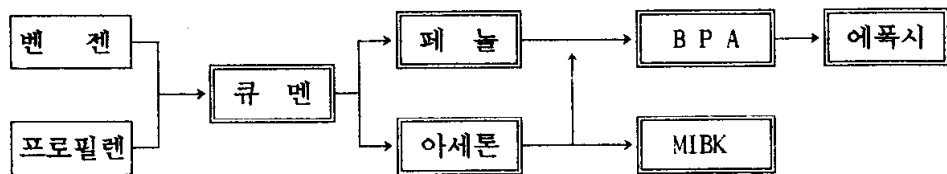
석유화학 공장은 각 제품들의 연관관계가 뚜렷하여 후속공정의 생산량을 변화시키면 선행공정의 생산량도 변화하는 특징을 가지고 있다. 또한 각 공정에서 생산되는 제품은 추가가공 없이 곧바로 판매될 수도 있으며 추가가공을 위해 후속공정에 원료로 투입될 수도 있다.

특히 한 공정에서 하나의 제품이 생산되는 경우는 거의 없고 다양한 제품이 동시에 생산되는 경우가 일반적이기 때문에 이러한 제품들중 일부는 판매가격이나 생산원가 측면에서 부의 효과를 유발하는 경우도 많다. 그러나 특정 공장의 가동을 중지하지 않는 한 부의 효과를 가져오는 제품들의 생산을 중단

할 수 없는 경우가 일반적이기 때문에 석유화학 공장의 생산계획은 제품별계획 보다는 공정별계획에 입각해 이루어져야 하며 최적생산계획은 개별공장 차원이 아니라 기업 전체적인 관점에서 이익을 극대화하는 방향으로 수립되어야 한다. 또한 원자재 가격과 제품가격, 심지어 각 공정의 기술계수는 수시로 변하는 속성을 가지고 있기 때문에 그 때마다 동적인 생산계획을 수립할 수 있는지의 여부는 기업이익에 직결되는 문제이다.

이러한 점들을 해결하기 위하여 본 연구에서는 기업전체 이익의 극대화라는 전제하에, 석유화학산업의 생산계획 수립을 위한 수리모형을 구축한 다음 이 모형을 K기업에 적용시켜 수리모형의 효과성을 검증하고자 한다.

본고는 정유공장에서 생산된 납사를 분해하여 석유화학 산업의 기초원료가 되는 에틸렌, 프로필렌, C₄혼합물, 부타디엔, 조분해유, 벤젠, 톨루엔, 크실렌 등을 생산하는 기초 공정으로부터 합성수지, 합섬원료, 합성고무, 기타 석유화학제품의 원료가 되는 화합물질을 생산하는 모든 석유화학공정을 연구대상으로 한다. 그 중에서도 BTX추출공장에서 분해된 벤젠을 기초원료로 사용하여 페놀, 아세톤, MIKB, BPA(DPP), 에폭시 등을 생산하는 K기업의 생산공정을 사례로 모형의 효과성을 검증하고자 한다.



〈그림 1-1〉 K기업의 생산공정

II. 수리모형

생산계획 수립문제를 모형화하는 데 사용되는 인덱스는 다음과 같다.

i	공정	$i = \{1, 2, \dots, n\}$
j	공정 i의 생산제품	$j = \{1, 2, \dots, m\}$
k	판매경로	$k = \{1, 2, \dots, K\}$
p	선행공정	$p = \{1, 2, \dots, P\}$
e	후속공정	$e = \{1, 2, \dots, E\}$
r	원재료	$r = \{1, 2, \dots, R\}$
t	시간	
a_i	i공정의 기준제품	

1. 선형계획모형

1.1 목적함수

목적함수는 계획기간 동안의 총공헌이익을 최대화하는 것이다. 신규 공장을 증설하는 경우가 아니라면 가동율과 관계없는 고정비는 고려할 필요가 없으므로 매출액에서 변동비를 차감한 총공헌이익을 최대화하도록 목적함수를 구성한다.

최대화 (매출액 - 변동비)

(1) 매출액

n 개의 공장에서 생산된 $n \times m$ 개의 제품 및 부산물은 재고로 보유한 일부를 제외하고는 다음 공정에 투입되거나 계획기간 내에 판매된다. 그런데 석유화학 제품은 일반적으로 판매경로에 따라 판매가격이 다르고 동일한 수요업체 일지라도 판매방법에 따라 상이한 가격으로 판매되기 때문에 목적함수는 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^k (C_{ijk} \times S_{ijk})$$

이 때, 판매량 S_{ijk} 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$\sum_{k=1}^k S_{ijk} = X_{ij} + I_{ij}^- - I_{ij}^+ - \sum_{c=1}^c N_{ijc}$$

C_{ijk} : 공정*i*에서 생산되는 제품*j*를 판매경로*k*를 통해 판매했을 때의 판매가격

X_{ij} : 계획기간 동안 공정*i*에서 생산된 제품*j*의 총생산량

I_{ij}^- : 공정*i*에서 생산된 제품*j*의 기초재고

I_{ij}^+ : 계획기간 동안 공정*i*에서 생산된 제품*j*의 기말재고

N_{ijc} : 공정*i*에서 생산된 제품*j* 중 후속공정*c*에 투입된 양

(2) 변동비

① 재료비

각 공정에 투입되는 원재료는 생산되는 제품과 선형관계를 이루고 있으므로 다음 식과 같이 표현할 수 있다. 선행공정에서 생산된 제품중 외부에 판매되지 않고 후속공정에 투입되는 반제품도 후속공정의 관점에서는 원재료의 하나로 간주할 수 있으나 선행공정에서 이미 비용화되었기 때문에 모델에서는 제외한다.

$$\sum_{r=1}^I \left(P_r \times \sum_{i=1}^n M_{ri} \right)$$

단, P_r : 원재료 r의 구매가격

M_{ri} : 원재료 r의 구매량 중 공정 i에 투입되는 양

② 노무비

노무비 중 직접비 부분은 각 공정의 가동시간 즉, 생산량에 비례하므로 다음 식으로 나타낼 수 있다. 그런데 공정 i는 m_i 개의 서로 다른 제품을 생산하고 있기 때문에 그들 중 중요도가 가장 높은 제품을 생산을 산정의 기준으로 삼아야 한다. 본 모형에서는 공정 i에서 가장 중요한 제품을 a_i 로 표시하기로 한다. 단, 대부분의 화학공장은 1일 2~3교대 근무로 24시간 가동하기 때문에 잔업은 없는 것으로 간주한다.

$$\sum_{i=1}^n \int_0^t \left(L_i \times \frac{X_{ai}}{t} \right) dt$$

단, L_i : 공정 i 의 단위 시간당 노무비

X_{ai} : 계획기간 동안 공정 i 에서 생산되는 기준제품 a_i 의 총생산량

$\frac{X_{ai}}{t}$: 계획기간 동안 공정 i 에서 생산되는 제품 a_i 의 단위 시간당 생산량

③ 공장 가동비용

전력(power), 스팀(steam), 용수(water), 연료(fuel) 등과 같은 유틸리티 역시 공정 가동시간 즉, 생산량에 비례하므로 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n \int_0^t \left(O_i \times \frac{X_{ai}}{t} \right) dt$$

단, O_i : 공정 i 의 단위 시간당 가동비용

1.2 제약식

(1) 생산기술제약

① 원재료의 사용량

공정 i 에서 기준제품 a_i 를 생산하는데 투입되는 원재료는 기준제품 a_i 와 선

형관계에 있으므로 다음과 같은 제약을 가진다.

$$P_{ir} = \beta_{air} \times X_{a_i} \quad \forall r, i$$

단, P_{ir} : 공정 i 에 투입되는 원재료 r 의 양

β_{air} : 공정 i 의 기준제품 a_i 를 만드는데 투입되는 원재료 r 의 투입비율

X_{a_i} : 공정 i 의 기준제품 a_i 의 총생산량

② 선행공정에서 생산된 제품의 투입비율

선행공정 i 에서 생산된 제품 j 가 후속공정 e 에 투입될 때 투입된 제품 j 는 후속공정의 관점에서 원재료의 하나로 간주할 수 있으므로 다음과 같은 기술적 제약을 갖는다.

$$N_{ije} = \beta_{aej} \times X_{a_e}$$

N_{ije} : 공정 i 에서 생산된 제품 j 중 후속공정 e 에 투입된 양

β_{ae} : 공정 i 의 후속공정 e 에서 생산되는 기준제품 a_e 와 i 공정에서 생산되어 e 공정에 투입된 제품 j 사이의 생산비율

X_{a_e} : 공정 i 의 후속공정 e 에서 생산되는 기준제품 a_e 의 생산량

③ 공정 i 에서 생산되는 제품의 생산율

공정 i 에서 생산되는 m_i 개의 제품 및 부산물 사이에는 산출량에 있어서 일

정한 선형관계가 성립한다. 따라서 기준제품 a_i 와 나머지 제품 및 부산물 사이의 생산율은 다음 식과 같이 일반화될 수 있다.

$$X_{ij} = \beta_{ij} \times X_{ai} \quad \forall i$$

제품 및 부산물의 수가 증가할수록 이러한 제약식의 수는 상당히 커지게 되며 전체 제약식 중 가장 큰 비율을 차지하는 것이 일반적이다.

(2) 기말재고량, 판매량, 후속공정 투입량의 결정

공정 i 의 기초재고에 당기 생산량을 합하면 당기에 처분할 수 있는 총생산량이 되는데 이 중 재고로 비축된 양을 제외한 나머지는 후속공정에 원료로 투입되거나 중간제품 상태로 판매된다. 재고량은 상수로 간주되므로 결과적으로 생산된 제품을 반제품 상태로 판매하는 양과 후속공정에 투입할 양을 결정하는 문제로 귀결된다.

$$I_{ij} + X_{ij} = I_{ij} + \sum_{k=1}^K S_{ijk} + \sum_{e=1}^E N_{ije}$$

(3) 생산능력 제약

각 공정은 계획기간 동안 가동시간이 한정되어 있다. 그런데 가동시간은 기준제품의 생산량에 비례하므로 생산능력은 다음 식으로 표시될 수 있다.

$$X_{ij} \leq CAPA_{ij}$$

단, $CAPA_{ij}$: 계획기간 동안 공정 i 에서 생산할 수 있는 제품 j 의 총생산량

(4) 수요량 제약

각 제품의 판매경로별 판매량은 계획기간 동안의 최대수요량 보다 클 수 없다. 단, 본 모형의 목표는 최적 생산량을 결정하는 문제이기 때문에 최대수요량 예측은 적절한 수요예측모형이나 경영자의 판단을 통해 사전에 주어진 것으로 본다.

$$S_{ijk} \leq V_{ijk}$$

단, V_{ijk} : 공정 i 에서 생산된 제품 j 를 판매경로 k 를 통해 판매할 수 있는 최대 판매가능량 또는 예측수요량

S_{ijk} : 공정 i 에서 생산된 제품 j 의 총판매량 중 판매경로 k 를 통해 판매한 양

2. 휴리스틱모형

생산계획 수립을 위한 휴리스틱해법은 화학공장의 파이프라인을 따라 움직이는 물량흐름을 기준으로 크게 두 가지 방향에서 고려될 수 있다.

2.1 선행결정 휴리스틱(Forward Heuristic): 휴리스틱 F

선행결정 휴리스틱은 제1공정으로부터 제2공정,.....,제n공정으로 가동률을 계산해 나간다. 이 때, 가동률은 생산되는 제품과 선형관계에 있으므로 각 공정의 주력제품 a_i 를 가동률 산정의 기준으로 사용한다.

$$PO_i = (Pa_i/Ca_i) \times 100$$

$$\text{Min} \left[\text{Min}_{1 \leq i \leq -1} \left(\frac{\beta_{a_{ie}}}{\sum_{e=1}^c \beta_{a_{ie}}} (Pa_i - Ia_i^- + Ia_i^+) \right), C_c \right]$$

PO_i 공정i의 가동률

Pa_i 공정i의 주력제품 a_i 의 생산량

$\beta_{a_{ie}}$ 공정i의 주력제품 a_i 가 후속공정 e에 투입되는 비율

Ia_i^- 공정i의 주력제품 a_i 의 기초재고

Ia_i^+ 공정i의 주력제품 a_i 의 기말재고

Ca_i 공정i의 주력제품 a_i 의 생산능력

그런데 후속공정의 가동률을 산정하기 위해서는 공정i의 주력제품 a_i 의 처리방법을 결정할 기준이 필요하다. 즉, 생산된 제품은 반제품상태로 외부에 판매되거나 후속공정의 원료로 투입되므로 적절한 기준에 따라 외부판매량과 후속공정투입량을 결정해야만 후속공정의 가동률을 산정할 수 있다.

이에 따라 휴리스틱 F는 두가지로 나누어진다.

(1) 휴리스틱 F-1

휴리스틱 F-1은 공정*i*의 기준제품 a_i 를 후속공정에 투입하기에 앞서 외부 수요처에 판매한 다음 잔여물량을 후속공정에 투입하는 방법으로 결정기준은 다음과 같다.

$$\sum_{e=1}^E Na_{ie} = Xa_i - \sum_{k=1}^K Sa_{ik}$$

(2) 휴리스틱 F-2

휴리스틱 F-2는 생산된 제품을 먼저 후속공정에 투입한 다음 잔여물량을 외부판매하는 방법으로 다음과 같은 결정기준을 따르게 된다.

$$\sum_{k=1}^K Sa_{ik} = Xa_i - \sum_{e=1}^E Na_{ie}$$

3.2 후행결정법(Backward Heuristic): 휴리스틱 B

후행결정법은 제*n*공정으로부터 제1공정으로 가동률을 역산해 나간다. 공정 *i*의 주력제품 Pa_i 의 생산량은 외부판매량(Sa_i)과 보유재고 및 후속공정 *c*에

투입되는 양에 의하여 결정되므로

$$PO_i = (Pa_i / Ca_i) \times 100$$

$$Pa_i = \sum_{e=1}^E (\beta_{ie} \cdot Pa_{ie}) + Sa_i - Ia_i^- + Ia_i^+ \quad \text{단, } i = n, n-1, \dots, 2, 1$$

와 같은 관계를 가진다.

Ⅲ. 결 론

각 해법들을 K기업의 사례에 적용시켜 해를 구한 결과가 <표2-1>에 정리되어 있다. 실적치는 91년도 실제가동률과 공헌이익을 나타내고 있으며 휴리스틱해법들에 의한 가동률과 공헌이익은 각 해법의 결정기준에 따라 계산되었다. 선형계획모형은 MPL(Mathematical Programming Language)를 사용하여 모형화한 후 Turbo-Simplex를 사용하여 최적해를 도출하였다.

<표 2-1> 모형의 결과 비교

	가 동 률					공헌이익
	큐멘공장	P/A공장	MIBK공장	BPA공장	EPOXY공장	
실적치	83%	83%	57%	28%	5%	154억
휴리스틱 F-1	100%	100%	94%	47%	7%	157억
휴리스틱 F-2	100%	100%	83%	77%	75%	206억
휴리스틱 B	100%	100%	94%	100%	100%	130억
선형계획모형	100%	97%	77%	74%	92%	235억

선행결정 휴리스틱은 생산흐름(flow)을 따라 가동률을 산정하기 때문에 후속공정일수록 가동률이 낮아지는 경향을 보이고 있다. 휴리스틱 F-1은 외부 판매 우선기준을 따른 결과 최종공정의 가동률이 0에 가까운 결과를 보이고

있으며 공장 현장에서 경험적으로 결정한 실적치에 비해 공헌이익에 별다른 개선이 없다. 휴리스틱 F-2는 외부판매보다 후속공정 투입을 우선시하기 때문에 휴리스틱 F-1에 비해 매우 안정적인 가동률을 유지하고 있으며 공헌이익도 실적치에 비해 큰 증가를 나타내고 있다.

후행결정 휴리스틱은 생산흐름(flow)과 반대방향으로 가동률을 산정하기 때문에 후속공정의 가동률이 높아지는 경향을 보이고 있다. 본 사례에서 후행 결정법이 실적치보다 나쁜 결과를 가져온 이유는 대부분의 공장이 100%로 가동되어 필요이상의 재고가 발생한 때문으로 풀이된다.

휴리스틱해법들은 각 공정의 이익공헌도에 따라 가동률이 산정되는 것이 아니라 수요와 공급이라는 물량면에서 가동률을 산정했기 때문에 필연적으로 최적해를 가져올 수 없다. 반면 선형계획모형은 수요·공급보다 '공헌이익'에 초점을 맞추어 가동률을 산정하기 때문에 최대의 이익을 가져오는 생산량 결정이 가능해지며 본 사례에서도 이 점을 명확히 확인할 수 있다.

그러나 본고에서 제시한 선형계획모형이 그 효과성에도 불구하고 다음과 같은 한계를 가지고 있다고 하겠다. 첫째 부록에 제시된 것과 같이 변수와 제약식이 많아 모형이 복잡하기 때문에 생산 현장의 관리자들이 쉽게 이해하고 사용하기가 어렵다. 둘째 생산관리상의 핵심부문중 하나인 재고문제를 해결하지 못하고 있다는 점은 한계로 지적될 수 있다. 제품재고는 판매가 불가능할 경우 그 자체로 비용을 유발하는 하나의 원인이 되지만 계획기간 이후에라도 매출이 이루어지면 수익의 원천이 되기도 한다. 따라서 향후 재고문제까지 포괄하는 선형계획모형 수립에 연구의 초점을 맞추어야 할 것으로 판단된다.

附 錄

1. 선형계획모형의 적용

1.1 구성요소의 파악 및 변수설정

앞에서 도출된 선형계획모형을 기초로 K기업의 실제 모형을 구축해 보기로 하겠다. 각 공정에 사용된 기술계수는 '91년도의 실제 자료를 이용했으며 판매가격과 비용요소는 연평균 자료를 이용했다. 또한 모형구성의 편의를 위해 전체 계획기간은 1년으로 설정했다. 생산능력은 가동일 330일 기준을 사용했으며 수요량의 경우 '91년도 판매예측치를 이용했다.

(1) 큐멘 공장(Cumene Plant)

큐멘 공장은 납사(Naphtha)에서 분해된 벤젠(Benzene)을 기초원료로 사용하고 여기에 프로필렌, 프로판 등의 원재료를 투입하여 큐멘(Cumene)과 기타 세 가지의 부산물을 생산한다. 생산된 부산물의 일부는 판매 가능하며 생산된 큐멘 전량은 다음 공정에 투입된다. 경우에 따라서는 큐멘을 수입할 수 있으나 수입원가가 제조원가에 비해 약 \$30/MT 정도 더 들어간다. 그러나 후속공정에서 그 이상의 공헌이익을 가져오는 것으로 판단될 경우 필요한 만큼 언제라도 수입가능하다.

① 투입요소

원재료	원단위 (MT/큐멘-MT)	구입가격 (천원/MT)	변수명
벤젠	0.681	300	Benzene
프로필렌	0.378	344	Propylene
프로판	0.00434	214,555	Propane
수입큐멘		385	Cum_Import

② 산출요소

제품/부산물	원단위 (MT/큐멘-MT)	판매가격 (천원/MT)	변수명
큐멘	1		Cum_Prod
H/A	0.044	103	HA_Prod
BZD	0.019	136	BZD_Prod
POG	0.007	170	POG_Prod

③ 기타 : 큐멘생산량(Cum_Prod) + 큐멘수입량(Cum_Import)
= 다음 공정에 투입되는 큐멘 총량(Cumene)

(2) 페놀/아세톤 공장(P/A Plant)

페놀(Phenol)/아세톤(Aceton) 공장은 큐멘공장에서 생산된 큐멘을 주원료로 하고 여기에 다섯가지의 원재료를 투입하여 페놀과 아세톤을 생산하며 그 과정에서 부산물 AMS가 발생한다. 페놀과 아세톤은 현재 K기업의 주력 생산품으로서 상당히 많은 양이 다음 공정에 투입되기 이전에 판매되고 있다. 생산된 페놀과 아세톤은 직접 판매될 수도 있고 다음 공정에 원료로 투입될 수도 있다.

석유화학공장의 생산계획 수립을 위한 수리모형정립

① 투입요소

원재료	원단위 (MT/페놀-MT)	구입가격 (천원/MT)	변수명
큐멘	1.49	천공정생산	Cumene
NAOH	0.083	151.33	NAOH2
황산	0.051	45	H2SO4
이산화황	0.000287	2200	SO2
톨루엔	0.0027	225.35	Toluene2
HMDA	0.00374	2356	HMDA

② 산출요소

제품/부산물	원단위 (MT/페놀-MT)	판매경로	판매가격 (천원/MT)	변수명
페놀	1			Phenol_Prod
(구분)		내수	717	Phenol_Domest
		로컬1	614	Phenol_Local1
		로컬2	614	Phenol_Local2
		S로컬	490	Phenol_Slocal
		수출	423	Phenol_Export
		대리점	660	Phenol_Agent
아세톤	0.6			Aceton_Prod
(구분)		내수	544	Aceton_Domest
		대리점1	450	Aceton_Agent1
		대리점2	450	Aceton_Agent2
		로컬	450	Aceton_Local
		수출	406	Aceton_Export
		BPA에 투입		Aceton_Bpa
		MIBK에 투입		Aceton_Mibk
		E3001-65-S에 투입		Aceton_365S
		E1123-1A-80에 투입		Aceton_1A80
AMS	0.044		524	AMS

(3) MIBK 공장(MIBK Plant)

MIBK 공장은 P/A 공장에서 생산된 아세톤을 주원료하여 MIBK를 생산하며 부산물로 Fuel Oil이 발생한다. 생산된 MIBK 역시 직접 판매할 수도 있고 다음 공정에 투입될 수도 있다.

① 투입요소

원재료	원단위 (MT/MIBK-MT)	구입가격 (천원/MT)	변수명
아세톤	1.26	천 공정	Aceton_Mibk
수소	0.036	1904	H2
NAOH	0.00003	152	NAOH3

② 산출요소

제품/부산물	원단위 (MT/MIBK-MT)	판매경로	판매가격 (천원/MT)	변수명
MIBK	1			Mibk_Prod
(구분)		내수	848	Mibk_Domest
		대리점1	780	Mibk_Agent1
		대리점2	800	Mibk_Agent2
		로컬	833	Mibk_Local
		수출	639	Mibk_Export
		E3001-CTR-50에 투입		Mibk_3CTR50
		E3001-CX-75에 투입		Mibk_3CX75
		E3001-65-S에 투입		Mibk_365S
Fuel Oil	0.065		90	Fuel_Oil

(4) 비스페놀에이 공장(BPA Plant)

비스페놀에이 공장은 P/A 공장에서 큐멘을 분해해 만든 페놀과 아세톤에 일정한 양의 원재료 몇가지를 투입하여 BPA를 생산하며 에폭시의 주원료로 사용된다.

① 투입요소

원재료	원단위 (MT/BPA-MT)	구입가격 (천원/MT)	변수명
페놀	0.87	P/A공정 생산	Phenol_Bpa
아세톤	0.26	P/A공정 생산	Aceton_Bpa
D-Hcl	0.017	353.02	D_Hcl
A-Hcl	0.002	60.34	A_Hcl
IPE	0.00006	1027	IPE
MESH	0.00005	7157	MESH

② 산출요소

제품/부산물	원단위 (MT/BPA-MT)	판매경로	판매가격 (천원/MT)	변수명
BPA	1			Bpa_Prod
(구분)		내수	800	Bpa_Domest
		로컬	750	Bpa_Local
		수출	750	Bpa_Export
	E828에	투입		Bpa_828
	E834에	투입		Bpa_834
	E3001에	투입		Bpa_3001
	E3002에	투입		Bpa_3002
	E3003에	투입		Bpa_3003
	E3004에	투입		Bpa_3004
	E3007에	투입		Bpa_3007
	E3009에	투입		Bpa_3009
	E3001-X-75에	투입		Bpa_3X75
	E3001-CTR-50에	투입		Bpa_3CTR50
	E3001-CX-75에	투입		Bpa_3CX75
	E3001-65-S에	투입		Bpa_365S
	E834-X-80에	투입		Bpa_8X80
	E3004-4F-10에	투입		Bpa_34F
	E1123-1A-80에	투입		Bpa_1A80

(5) 에폭시 공장(Epoxy Plant)

에폭시 공장에서 생산되는 제품은 원재료의 배합비율에 따라 20-30여가지의 많은 종류가 있다. 이들 제품은 크게 액상 에폭시와 고상 에폭시의 두 종류로 나누어 진다.

다른 종류의 에폭시를 생산하기 위해서는 BPA를 주원료로 하는 액상 에폭시(제품명 E828)를 먼저 생산해야 한다. 그러나 E828 역시 다른 에폭시를 생산하기 위한 원료로 투입되기 이전에 직접 판매될 수도 있다.

E828을 제외한 나머지 에폭시 제품은 고상 에폭시로서 수요량이 그다지 많지는 않으나 고부가가치성이다. 특히 특정 계획기간동안의 수요량 중 대부분은 계획기간초에 실수요업체와 사전계약에 의해 정해지기 때문에 에폭시 제품의 시장성은 그다지 좋은 형편이 못된다. 그러나 수출선 확보나 새로운 고객확보가 가능할 경우 이익에 상당한 공헌을 할 것으로 보인다.

투입되는 원재료 및 그 배합비율은 구체적으로 모델을 통해 살펴보기로 한다.

구분	제품명	원재료
액상	E828	BPA, ECH, NaOH, 톨루엔, MSP, IPA
고상	E834 E815 E3001 E3002 E3003 E3004 E3007 E3009 E3001-X-75 E3001-CTR-50 E3001-CX-75 E3001-65-S E828-X-90 E834-X-80 E3004-4F-10 E1123-1A-80	BPA, E828, ETPPI E828, E834, nBGE BPA, E828, ETPPI BPA, E828, ETPPI BPA, E828, ETPPI BPA, E828, ETPPI BPA, E828, ETPPI BPA, E828, ETPPI BPA, E828, ETPPI, XYLENE BPA, E828, ETPPI, MIBK, BUT-OXITTOL BPA, E828, ETPPI, MIBK, BUT-OXITTOL BPA, E828, ETPPI, MIBK, IPA, Xylene, 아세톤 E828, XYLENE BPA, E828, ETPPI, XYLENE BPA, E828, ETPPI BPA, E828, ETPPI, 아세톤

1.2 선형계획모형의 적용

(1) 모형의 개요

본 선형계획 모형은 총 180여개의 제약식과 340여개의 변수로 구성되어 있으며 중요성의 원칙에 근거하여 목적함수에 미치는 영향이 미미하거나 가동률에 큰 영향을 받지 않는 요소들은 문제의 복잡도만을 증가시키기 때문에 편의상 제외시켰다. 또한 목적함수에 포함시켜야 할 노무비는 K기업의 경우 모두 고정비 성격을 가지고 있기 때문에 실제 모델에서는 고려요인에 포함시키지 않았다.

모형수립의 초기단계에서는 가능한한 모든 요소들을 고려하였으나 휴리스틱 모형과의 비교를 위하여 변수와 제약식의 수를 대폭 줄였다. 그러나 제외된 변수나 제약식은 모두 목적함수에 대한 영향이 미미하고 최적성을 해치지 않는 부분으로 한정하였다. 특히, 기초재고는 이미 결정되어 있는 값으로서 상수이기 때문에 모델에서는 제외시켰으며 모델의 단순화를 위해 모든 제품 및 부산물의 기초재고는 0으로 간주하였다.

(2) 목적함수

목적함수는 총공헌이익을 최대화시키는 것이므로 다음과 같이 표현된다.

$$\text{MAX Total_Contribution_Margin}$$

1) 매출액

① 큐멘공장의 부산물 판매액

103 HA + 136 BZD + 170 POG

② 생산된 페놀 중 후속공정에 투입되지 않고 외부에 판매된 부분

+ 717 Phenol_Domest + 614 Phenol_Local1 + 614 Phenol_Local2
+ 490 Phenol_Slocal + 423 Phenol_Export + 660 Phenol_Agent

③ 생산된 아세톤 중 후속공정에 투입되지 않고 외부에 판매된 부분

+ 544 Aceton_Domest + 450 Aceton_Agent1 + 450 Aceton_Agent2
+ 450 Aceton_Local + 406 Aceton_Export

④ P/A 공장의 부산물의 판매액

+ 524 AMS

⑤ 생산된 MIBK 중 후속공정에 투입되지 않고 외부에 판매된 부분

+ 848 Mibk_Domest + 780 Mibk_Agent1 + 800 Mibk_Agent2
+ 833 Mibk_Local + 639 Mibk_Export

⑥ MIBK 공장의 부산물 판매액

+ 90 Fuel_Oil

⑦ 생산된 BPA 중 후속공정에 투입되지 않고 외부에 판매된 총액

+ 800 Bpa_Domest + 750 Bpa_Local + 750 Bpa_Export

- ⑧ 생산된 에폭시 제품 중 후속공정에 투입되지 않고 외부에 판매된 부분
- + 1800 E828_Domest + 1800 E828_Local + 1640 E828_Export
 - + 2400 E834_Domest + 1900 E815_Domest + 1780 E3001_Domest
 - + 1500 E3002_Domest + 1600 E3003_Domest + 1840 E3004_Domest
 - + 1800 E3007_Domest + 2380 E3009_Domest + 1450 E3X75_Domest
 - + 1260 E3CTR50_Domest + 1450 E3CX75_Domest + 1500 E365S_Domest
 - + 1780 E8X90_Domest + 1550 E8X80_Domest + 1690 E34F_Domest
 - + 1100 E1A80_Domest

2) 변동비

① 큐멘공장의 원재료비

- 300 Benzene - 344 Propylene - 215 Propane - 385 Cum_Import

② P/A 공장의 원재료비

- 45 H2SO4 - 2200 SO2 - 2356 HMDA

③ MIBK 공장의 원재료비

- 1904 H2 - 10 Catalyst

④ BPA 공장의 원재료비

- 353 D_Hcl - 61 A_Hcl - 1.027 IPE - 7155 MESH

⑤ Epoxy 공장의 원재료비

- 964 ECH - 711 MSP

- 470 (IPA_828 + IPA_365S)

- 45062 (ETPPI_834 + ETPPI_3001 + ETPPI_3002 + ETPPI_3003

+ ETPPI_3004 + ETPPI_3007 + ETPPI_3009 + ETPPI_3X75

+ ETPPI_3CTR50 + ETPPI_3CX75 + ETPPI_365S + ETPPI_8X80

+ ETPPI_34F + ETPPI_1A80)

- 3280 nBGE
- 274 (Xylene_3X75 + Xylene_365S + Xylene_8X90 + Xylene_8X80)
- 810 (Box_3CTR50 + Box_3CX75)
- 226 (Toluene2 + Toluene5)
- 152 (NAOH2 + NAOH3 + NAOH4 + NAOH5)

⑥ 유틸리티비용

- 0.047 (Power1 + Power2 + Power3 + Power4)
- 0.047*1450 (E828 + E834 + E815 + E3001 + E3002 + E3003 + E3004
+ E3007 + E3009 + E3X75 + E3CTR50 + E3CX75 + E365S + E8X90
+ E8X80 + E34F + E1A80)
- 10.075 (Steam1 + Steam2 + Steam3 + Steam4)
- 10.075*6 (E828 + E834 + E815 + E3001 + E3002 + E3003 + E3004
+ E3007 + E3009 + E3X75 + E3CTR50 + E3CX75 + E365S
+ E8X90 + E8X80 + E34F + E1A80)
- 0.106 (Water1 + Water2 + Water3 + Water4)
- 0.106*55 (E828 + E834 + E815 + E3001 + E3002 + E3003 + E3004
+ E3007 + E3009 + E3X75 + E3CTR50 + E3CX75 + E365S
+ E8X90 + E8X80 + E34F + E1A80)
- 0.079 (Fuel1 + Fuel2 + Fuel3 + Fuel4)
- 0.079*130 (E828 + E834 + E815 + E3001 + E3002 + E3003 + E3004
+ E3007 + E3009 + E3X75 + E3CTR50 + E3CX75 + E365S
+ E8X90 + E8X80 + E34F + E1A80)
- 0.049 (NH31 + NH32 + NH33 + NH34)
- 0.049*570 (E828 + E834 + E815 + E3001 + E3002 + E3003 + E3004
+ E3007 + E3009 + E3X75 + E3CTR50 + E3CX75 + E365S
+ E8X90 + E8X80 + E34F + E1A80)

(3) 제약식

1) 판매량, 재고량 및 후속공정투입량의 결정

① 큐멘공장

- 1) $Cum_Prod + Cum_Import = Cumene + Cum_Stock_C$
- 2) $HA_Prod = HA_Sale + HA_Stock_C$
- 3) $BZD_Prod = BZD_Sale + BZD_Stock_C$
- 4) $POG_Prod = POG_Sale + POG_Stock_C$

② 페놀/아세톤 공장

- 5) $Phenol_Prod = Phenol_Domest + Phenol_Local1 + Phenol_Local2 + Phenol_Slocal + Phenol_Export + Phenol_Agent + Phenol_Bpa + Phenol_Stock_C$
- 6) $Aceton_Prod = Aceton_Domest + Aceton_Agent1 + Aceton_Agent2 + Aceton_Local + Aceton_Export + Aceton_Bpa + Aceton_Mibk + Aceton_365S + Aceton_1A80 + Aceton_Stock_C$
- 7) $AMS_Prod = AMS_Sale + AMS_Stock_C$

③ MIBK 공장

- 8) $Mibk_Prod = Mibk_Domest + Mibk_Agent1 + Mibk_Agent2 + Mibk_Local + Mibk_Export + Mibk_Stock_C + Mibk_3CTR50 + Mibk_3CX75 + Mibk_365S$
- 9) $Fuel_Oil_Prod = Fuel_Oil_Sale + Fuel_Oil_Stock_C$

⑤ BPA 공장

$$\begin{aligned} 10) \text{ Bpa_Prod} &= \text{Bpa_Domest} + \text{Bpa_Local} + \text{Bpa_Export} \\ &+ \text{Bpa_828} + \text{Bpa_834} + \text{Bpa_3001} + \text{Bpa_3002} + \text{Bpa_3003} + \text{Bpa_3004} \\ &+ \text{Bpa_3007} + \text{Bpa_3009} + \text{Bpa_3X75} + \text{Bpa_3CTR50} + \text{Bpa_3CX75} \\ &+ \text{Bpa_365S} + \text{Bpa_8X80} + \text{Bpa_34F} + \text{Bpa_1A80} + \text{Bpa_Stock_C} \end{aligned}$$

⑥ 예폭시 공장

$$\begin{aligned} 11) \text{ E828} &= \text{LER_834} + \text{LER_815} + \text{LER_3001} + \text{LER_3002} \\ &+ \text{LER_3003} + \text{LER_3004} + \text{LER_3007} + \text{LER_3009} + \text{LER_3X75} \\ &+ \text{LER_3CTR50} + \text{LER_3CX75} + \text{LER_365S} + \text{LER_8X90} + \text{LER_8X80} \\ &+ \text{LER_34F} + \text{LER_1A80} + \text{E828_Stock_C} + \text{E828_Domest} \\ &+ \text{E828_Local} + \text{E828_Export} \end{aligned}$$

$$12) \text{ E834} = \text{E834_E815} + \text{E834_Domest} + \text{E834_Stock_C}$$

$$13) \text{ E815} = \text{E815_Domest} + \text{E815_Stock_C}$$

$$14) \text{ E3001} = \text{E3001_Domest} + \text{E3001_Stock_C}$$

$$15) \text{ E3002} = \text{E3002_Domest} + \text{E3002_Stock_C}$$

$$16) \text{ E3003} = \text{E3003_Domest} + \text{E3003_Stock_C}$$

$$17) \text{ E3004} = \text{E3004_Domest} + \text{E3004_Stock_C}$$

$$18) \text{ E3007} = \text{E3007_Domest} + \text{E3007_Stock_C}$$

$$19) \text{ E3009} = \text{E3009_Domest} + \text{E3009_Stock_C}$$

$$20) \text{ E3X75} = \text{E3X75_Domest} + \text{E3X75_Stock_C}$$

$$21) \text{ E3CTR50} = \text{E3CTR50_Domest} + \text{E3CTR50_Stock_C}$$

$$22) \text{ E3CX75} = \text{E3CX75_Domest} + \text{E3CX75_Stock_C}$$

$$23) \text{ E365S} = \text{E365S_Domest} + \text{E365S_Stock_C}$$

$$24) \text{ E8X90} = \text{E8X90_Domest} + \text{E8X90_Stock_C}$$

$$25) \text{ E8X80} = \text{E8X80_Domest} + \text{E8X80_Stock_C}$$

$$26) \text{ E34F} = \text{E34F_Domest} + \text{E34F_Stock_C}$$

$$27) \text{ E1A80} = \text{E1A80_Domest} + \text{E1A80_Stock_C}$$

2) 기술제약

① 큐넨공장

- 28) 0.681 Cum_Prod = Benzene
- 29) 0.378 Cum_Prod = Propylene
- 30) 0.00434 Cum_Prod = Propane
- 31) 0.044 Cum_Prod = HA_Prod
- 32) 0.019 Cum_Prod = BZD_Prod
- 33) 0.007 Cum_Prod = POG_Prod
- 34) 69.74 Cum_Prod = Power1
- 35) 0.166 Cum_Prod = Steam1
- 36) 12.04 Cum_Prod = NH31
- 37) 2.200 Cum_Prod = Water1
- 38) 77.00 Cum_Prod = Fuel1

② P/A 공장

- 39) 1.49 Phenol_Prod = Cumene
- 40) 0.083 Phenol_Prod = NaOH2
- 41) 0.051 Phenol_Prod = H2SO4
- 42) 0.000287 Phenol_Prod = SO2
- 43) 0.0027 Phenol_Prod = Toluene2
- 44) 0.00374 Phenol_Prod = HMDA
- 45) 0.6 Phenol_Prod = Aceton_Prod
- 46) 0.044 Phenol_Prod = AMS_Prod
- 47) 459.4 Phenol_Prod = Power2
- 48) 2.900 Phenol_Prod = Steam2
- 49) 19.37 Phenol_Prod = NH32
- 50) 15.96 Phenol_Prod = Water2
- 51) 100.0 Phenol_Prod = Fuel2

③ MIBK 공장

- 52) 1.26 Mibk_Prod = Aceton_Mibk
- 53) 0.036 Mibk_Prod = H2
- 54) 0.00003 Mibk_Prod = NaOH3
- 55) 0.065 Mibk_Prod = Fuel_Oil
- 56) 307.0 Mibk_Prod = Power3
- 57) 4.53 Mibk_Prod = Steam3
- 58) 54.58 Mibk_Prod = NH33

④ BPA 공장

- 61) 0.87 Bpa_Prod = Phenol_Bpa
- 62) 0.26 Bpa_Prod = Aceton_Bpa
- 63) 0.017 Bpa_Prod = D_Hcl
- 64) 0.002 Bpa_Prod = A_Hcl
- 65) 0.00006 Bpa_Prod = IPE
- 66) 0.00005 Bpa_Prod = MESH
- 67) 0.0037 Bpa_Prod = NaOH4

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 59) 8.210 Mibk_Prod = Water3 | 68) 830.0 Bpa_Prod = Power4 |
| 60) 100.0 Mibk_Prod = Fuel3 | 69) 3.320 Bpa_Prod = Steam4 |
| | 70) 123.0 Bpa_Prod = NH34 |
| | 71) 6.620 Bpa_Prod = Water4 |
| | 72) 100.0 Bpa_Prod = Fuel4 |

⑤ 에폭시 공장

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 73) 0.681 E828 = Bpa_828 | 92) 0.085 E834 = Bpa_834 |
| 74) 0.583 E828 = ECH | 93) 0.935 E834 = LER_834 |
| 75) 0.576 E828 = NAOH5 | 94) 0.0003 E834 = ETPPI_834 |
| 76) 0.015 E828 = Toluene5 | 95) 0.785 E815 = LER_815 |
| 77) 0.00356 E828 = MSP | 96) 0.112 E815 = E834_E815 |
| 78) 0.005 E828 = IPA_828 | 97) 0.122 E815 = nBGE |
| 79) 0.204 E3001 = Bpa_3001 | 98) 0.269 E3002 = Bpa_3002 |
| 80) 0.816 E3001 = LER_3001 | 99) 0.751 E3002 = LER_3002 |
| 81) 0.0003 E3001 = ETPPI_3001 | 100) 0.0003 E3002 = ETPPI_3002 |
| 82) 0.275 E3003 = Bpa_3003 | 101) 0.282 E3004 = Bpa_3004 |
| 83) 0.745 E3003 = LER_3003 | 102) 0.738 E3004 = LER_3004 |
| 84) 0.003 E3003 = ETPPI_3003 | 103) 0.0003 E3004 = ETPPI_3004 |
| 85) 0.326 E3007 = Bpa_3007 | 104) 0.347 E3009 = Bpa_3009 |
| 86) 0.694 E3007 = LER_3007 | 105) 0.673 E3009 = LER_3009 |
| 87) 0.0003 E3007 = ETPPI_3007 | 106) 0.0003 E3009 = ETPPI_3009 |
| 88) 0.153 E3X75 = Bpa_3X75 | 107) 0.102 E3CTR50 = Bpa_3CTR50 |
| 89) 0.612 E3X75 = LER_3X75 | 108) 0.408 E3CTR50 = LER_3CTR50 |
| 90) 0.00023 E3X75 = ETPPI_3X75 | 109) 0.00015 E3CTR50 = ETPPI_3CTR50 |
| 91) 0.255 E3X75 = Xylene_3X75 | 110) 0.173 E3CTR50 = Mibk_3CTR50 |

- | | | | |
|-----------------------------------|--|---------------------------------|--|
| | | 111) 0.163 E3CTR50 = Box_3CTR50 | |
| 112) 0.153 E3CX75 = Bpa_3CX75 | | 126) 0.133 E365S = Bpa_365S | |
| 113) 0.612 E3CX75 = LER_3CX75 | | 127) 0.043 E365S = IPA_365S | |
| 114) 0.00023 E3CX75 = ETPPI_3CX75 | | 128) 0.53 E365S = LER_365S | |
| 115) 0.0093 E3CX75 = Mibk_3CX75 | | 129) 0.0002 E365S = ETPPI_365S | |
| 116) 0.163 E3CX75 = Box_3CX75 | | 130) 0.189 E365S = Xylene_365S | |
| 117) 0.918 E8X90 = LER_8X90 | | 131) 0.082 E365S = Mibk_365S | |
| 118) 0.102 E8X90 = Xylene_8X90 | | 132) 0.043 E365S = Aceton_365S | |
| 119) 0.068 E8X80 = Bpa_8X80 | | 133) 0.291 E1A80 = Bpa_1A80 | |
| 120) 0.748 E8X80 = LER_8X80 | | 134) 0.525 E1A80 = LER_1A80 | |
| 121) 0.00016 E8X80 = ETPPI_8X80 | | 135) 0.00024 E1A80 = ETPPI_1A80 | |
| 122) 0.204 E8X80 = Xylene_8X80 | | 136) 0.204 E1A80 = Aceton_1A80 | |
| 123) 0.248 E34F = Bpa_34F | | | |
| 124) 0.67 E34F = LER_34F | | | |
| 125) 0.0003 E34F = ETPPI_34F | | | |

3) 생산능력 및 수요량 제약

- 137) Cum_Prod <= 85000
- 138) Phenol_Prod <= 70000
- 139) Mibk_Prod <= 12500
- 140) Bpa_Prod <= 25000
- 141) E828 <= 7200
- 142) E834 + E815 + E3001 + E3002 + E3003 + E3004 + E3007
 + E3009 + E3X75 + E3CTR50 + E3CX75 + E365S + E8X90

$$+ E8X80 + E34F + E1A80 \leq 6060$$

143) Phenol_Domest	<=	16000	154) Mibk_Domest	<=	5000
144) Phenol_Local1	<=	6000	155) Mibk_Agent1	<=	2200
145) Phenol_Local2	<=	6200	156) Mibk_Agent2	<=	1000
146) Phenol_Slocal	<=	5000	157) Mibk_Local	<=	1500
147) Phenol_Export	<=	14500	158) Mibk_Export	<=	2000
148) Phenol_Agent	<=	4300	159) Bpa_Domest	<=	3000
149) Aceton_Domest	<=	20000	160) Bpa_Local	<=	6000
150) Aceton_Agent1	<=	500	161) Bpa_Export	<=	7000
151) Aceton_Agent2	<=	500			
152) Aceton_Local	<=	500			
153) Aceton_Export	<=	2500			
162) E828_Domest	<=	500	163) E828_Local	<=	1500
164) E828_Export	<=	0			
165) E834_Domest	<=	12	173) E3X75_Domest	<=	3000
166) E815_Domest	<=	1000	174) E3CTR50_Domest	<=	0
167) E3001_Domest	<=	3700	175) E3CX75_Domest	<=	40
168) E3002_Domest	<=	590	176) E365S_Domest	<=	0
169) E3003_Domest	<=	850	177) E8X90_Domest	<=	0
170) E3004_Domest	<=	800	178) E8X80_Domest	<=	90
171) E3007_Domest	<=	400	179) E34F_Domest	<=	230
172) E3009_Domest	<=	440	180) E1A80_Domest	<=	2300
181) HA_Sale	<=	1040	184) AMS_Sale	<=	200

석유화학공장의 생산계획 수립을 위한 수리모형정립

182) BZD_Sale <= 1150 185) Fuel_Oil_Sale <= 100
183) POG_Sale <= 45