

스테인레스 전기로 최적 원료장입 모델

홍 유신 *
박 기진 *
오 성수 †

Abstract

An optimal raw mix model in stainless steel making is developed. The key raw materials in stainless steel making are stainless steel scrap, steel scrap, and alloy materials like Fe-Ni, Fe-Cr. Among those raw materials, the alloy metals are very expensive as well as rapidly price-changing items. Consequently, it is very important to develop an minimal cost raw mix scheme while the produced stainless steel satisfies the required specification in it's composition.

The linear programming model is employed to determine the minimal cost raw mix scheme. Compared with the method being used, the developed linear programming model gives much faster and better solution (lower cost raw mix plan). Together with the linear programming model, the database is also developed, which includes the following: 1) data for raw materials, such as compositions, costs, densities, available inventory levels, and so on, 2) the required specifications of the produced stainless steel, and 3) the necessary restrictions on stainless steel making process. The developed optimal raw mix model will be implemented in VAX computer.

1. 서 론

포항제철소의 스테인레스 (STAINLESS) 공장은 1989년 3월부터 가동을 시작하였다. 스테인레스 강은 일반강과 비교할때, 매우 고가의 제품으로 전기로에 장입되는 원재료의 가격이 제품의 원가구성에 지대한 영향을 미칠뿐만 아니라, 고가의 제품인 만큼 성분, 규격, 품질등에 보다 엄격한 통제가 요구된다.

스테인레스강의 주요 원재료인 FE-Ni, FE-Cr 등의 합금철등은 매우 가격이 비싸며, 동시에 가격이 저렴한 SCRAP 등을 이용하여 제품의 구성 및 규격을 만족시킴으로서 제조원가를 절감하도록 하여야 한다.

또한 스테인레스강의 생산은 고급기술을 요하는 조업일뿐 아니라 유사공장이 없어서 조업과 관련된 많은 데이터를 수집한다는것은 거의 불가능한 실정이다. 따라서 조업기술을 자체적으로 습득하여 조업을 해야하는 실정에서 원재료 가격의 변화, 제품의 성분, 규격 및 생산공정의 변화등에 따른 원재료의 장입량을 신속하게 결정되어야 한다. 현재로서는 원재료의 가격을 고려하지 않고 성분만을 고려 장입량을 계산하고 있으나 고가의 원재료를 감안할때 각각의 원재료의 가격을 고려하여 신속하게 원료 장입량을 계산할수 있는 전산모형의 개발은 필연적으로 요구되고 있다.

* 포항공대 산업공학과
* 포항공대 산업공학과
† 포항제철 (주) IE실

본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 스테인레스강의 주요 원재료인 일반 SCRAP, 스테인레스 SCRAP, FE-Ni, FE-Cr 등의 합금철의 가격을 고려하여 최소의 비용으로 스테인레스강의 성분 및 규격을 만족시키는 원재료의 장입량을 결정할 수 있는 수리계획 모형을 개발하고 동시에 주요 원료의 재고 현황등을 파악할 수 있게하여 효과적인 원재료관리를 가능하게 하며 나아가서는 경제적인 원재료의 수급계획을 수립할 수 있게하는 발판을 갖추고자 한다. 동시에 현장 관리자들이 이와 같은 수리모형에 익숙치 못한점을 감안하여 용이하게 이용할 수 있도록 전산모형을 개발하고자 한다.

본 논문의 구성은 1장에서는 연구 동기 및 배경, 그리고 연구목적에 대해서 기술하고, 수리계획 모델의 이론적인 고찰과 함께 최적 장입량 계산을 위한 목적함수 및 제약조건에 관하여 2장, 3장에서 각각 설명한다. 4장에서는 개발한 수리계획 모형을 바탕으로 전산화된 모델에 필요한 원재료에 대한 자료를 관리할 수 있는 방법론을 제시하며, 5장에서는 이러한 전산화된 원료장입 모형을 이용할 수 있는 절차와 모델을 구성하고 있는 부분요소(Subsystem)들의 각각의 기능에 대하여 서술하고, 마지막으로 6장과 7장에서는 지금까지 수행한 원료장입 모형의 연구결과에 따른 분석과 아울러 검토를 토대로 결론을 내리고자 한다.

2. 이론적 고찰

본 스테인레스 전기로 원료장입 모형의 개발을 위해서는 Operations Research 분야의 대표적 기법이라고 할 수 있는 수리계획법(Mathematical Programming)을 이용하고자 한다. 수리계획법이란 일반적으로 주어진 제약조건(Constraints) 하에서 목적함수(Objective Function)의 값을 최적화(Optimize)하는 기법으로서 알려져 있으며 일반적으로 아래와 같은 식으로 표시된다.

$$P: \text{Min (Max)} \quad Z = F(x) \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{Subject to} \quad g(x) = 0 \quad \text{--- (2)}$$

”문제 P”에서 식(1)은 목적함수라 하며 식(2)는 제약조건식이 된다. 목적함수는 일반적으로 총비용, 총이익, 총매출 등 어떠한 계획에 따른 결과를 비교할 수 있는 수식이며, 제약조건식은 주어진 계획과 관련된 제약조건을 식으로 표시한 결과이다.

수리계획법(Mathematical Programming)은 선형계획법(Linear Programming), 비선형계획법(Nonlinear Programming) 및 정수계획법(Integer Programming)등으로 구분된다. 선형계획법이란 식(1)의 목적함수 및 식(2)의 제약조건식이 결정변수(Decision Variable)의 1차식으로 표시될 경우는 비선형계획법이라 칭한다. 한편 결정변수 전부 혹은 일부가 정수의 값으로 가지는 경우에는 정수계획법이라고 한다.

스테인레스 전기로 장입모형은 선형계획문제로 모형화가 가능하며 1946년 미국의 George B. Dantzig 가. 발견한 단체법(Simplex Method)에 의하여 해(Solution)를 구할수 있다. 선형계획법은 본 원료장입 모형을 비롯하여 생산계획의 수립, 인력계획, 수송문제, 배정문제등에 널리 적용되고 있다.

선형계획법은 최적해를 구할수 있을뿐만 아니라 원재료 가격의 변화, 자원(Resource)의 한계치(Marginal Price)등이 문제의 최적화와 동시에 제시되기 때문에 감도분석(Sensitivity Analysis)을 통하여 계획과 관련하여 여러 측면에서 경제성 분석을 가능하게 하는 장점이 있다.

3. 원료장입 수리계획 모형

최소의 비용으로 제품의 품질을 만족시킬수 있는 장입 원재료의 양을 산출하기 위한 수리계획 모형의 개발을 위하여 모형개발에 필요한 기초 자료에 대한 설명을 하고자 한다.

3.1 장입 원재료

현재 포항제철의 스테인레스공장에서는 약 200여종의 원재료를 수입하여 스테인레스강을 생산하고 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 동일한 공급선에서 수입된 동일한 원재료도 가격의 변동이 심하고 원재료의 성분 또한 일정하지 않다. 그러나 현재로서는 효율적인 생산공정관리를 위하여 전체 원재료를 관리하기 보다는 공장내의 18개의 BIN 에 저장되어 있는 원재료를 중점적으로 관리함으로써 짧은 기간내에 조업의 안정을 도모하고자 한다. 18 개의 BIN 에 저장되어 있는 원재료의 제품명, 공급선, 성분비, 비중, 가격, 현재고 등 원재료와 관련된 자료는 [표 1]에서 보는 바와 같다.

[표 1] 원료별 성분 및 가격

구분 원재료	화 학 성 분(%)							비중 (ton/m ³)	가격 (\$/ton)	Brand
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr			
일반경량 Scrap	0.10	0.07	0.40	0.03	0.03	-	-	1	157	자체
일반중량 Scrap	0.10	0.07	0.40	0.03	0.03	-	-	1.5	157	자체
수입 STS Scrap	0.04	0.06	1.20	0.035	0.008	9.0	18.2	1	1,329	E.L.G
회수 STS Scrap	0.04	0.06	1.20	0.035	0.008	9.0	18.2	1	1,318	E.L.G
자가경량 Scrap	0.04	0.06	1.20	0.035	0.008	9.0	18.2	1	1,321	자체
자가중량 Scrap	0.04	0.06	1.20	0.035	0.008	9.0	18.2	1	1,321	자체
Ch-Cr1	6.63	3.20	-	0.03	0.05	-	52.0	4.20	869	Saman.
Ch-Cr2	7.81	3.01	-	0.023	0.019	-	58.9	4.20	984	Facor.
Fe-Ni1	0.06	0.33	-	0.01	0.06	38.0	-	3.53	6,316	Falcon
Fe-Ni2	1.73	1.70	-	0.01	0.06	26.0	0.9	3.53	4,321	S.L.N
질단 지금	0.05	0.6	-	-	-	7.8	15.4	1	500	자체
회수 지금	0.05	0.6	-	-	-	7.13	12.13	1	500	자체
기타 지금	0.05	0.6	-	-	-	7.13	12.13	1	500	자체
혼합 지금	0.05	0.6	-	-	-	7.13	12.13	1	500	자체

3.2 제품의 규격

현재 포항제철소의 스테인레스 공장에서는 크게 Austenite 강, Ferrite 강, Martensite 강을 생산하고 있으며, 본 원료장입 모델에서도 어떠한 강을 생산하더라도 쉽게 이용될수 있도록 구성되어 있으나 본절에서는 Austenite 를 예로하여 설명하고자 한다. Austenite 의 성분 구성의 한 예가 [표 2] 에 주어져 있다.

[표 2] 성분별 용탕 구성비

성분	구성비 (%)
C	1.4 ~ 1.6
Si	0.14 ~ 0.16
Mn	0.53 ~ 0.55
S	< 0.03
P	< 0.03
Cr	19.71 ~ 19.73
Ni	9.38 ~ 9.40
용탕	87,000kg

[표 2] 에서 주어진 값은 스테인레스 용탕중에 포함되어야 하는 성분별 구성비를 의미한다. 예를들면 탄소 (C) 의 경우 총 용탕 성분중 1.4 ~1.6%가 포함되어야 하며, 용탕 성분비는 강종에 따라 변화된다.

3.3 생산공정

전기로에 장입된 모든 원재료가 제강후의 용탕속에 그대로 남아있지는 않는다. 즉 장입된 원재료의 일부분은 Slag등으로 유출되어 실제 용탕중에는 장입된 원재료의 성분중 일정부분만이 남게된다. 이를 수율(Yield) 이라고 하며 각 성분별 수율의 예는 [표 3] 에 주어져있다.

[표 3] 성분별 수율

성분	수율 (%)
C	70
Si	0.15
Mn	80
S	100
P	100
Cr	96
Ni	98
용탕	93

앞에서 설명한 수율 이외에 용탕의 염기도 조정을 위하여 투입되는 생석회의 양도 결정되어야 하고 가탄제, 산소 (O₂) 등의 투입량도 결정되어야 한다.

이러한 생석회, 가탄제 및 산소등의 투입량 계산을 위한 식은 다음절에서 자세히 설명하고자 하며 동시에 전기로의 용적을 감안 할때 총 투입된 재료의 용적 역시 통제되어야 한다

3.4 수리계획 모형

본 절에서는 3.1 ~ 3.3에서 설명한 자료를 이용하여 어떻게 수리계획 모형을 구성하는지를 상세히 설명하고자 한다. 먼저 목적함수는 투입되는 원재료의 가격의 합이 되어야 하며 이를 최소화하여야 하며 스테인레스강의 생산과 관련하여 필요한 제약조건은 다음과 같이 구분될 수 있다.

*목적함수

수리계획 모형의 목적함수는 전기로에 장입되는 원재료의 총합으로 표시되며 목적은 이러한 총 원재료의 비용을 최소화(Minimization)하여야 한다.

$$\text{총 원재료 비용} = \sum_i (\text{단위 원재료가격})_i * (\text{원재료 장입량})_i$$

*총생산 용탕량

생산되는 용탕의 총량은 장입되는 원재료의 총 총량에서 Slag등으로 없어지는 양을 제외한 양과 같아야 함으로 아래의 식으로 표시된다.

$$\sum_i (\text{원재료 장입량})_i = (\text{총 용탕량}) / (\text{용탕의 수율})$$

*용탕중의 원소별 성분비

용탕중에 포함되어야 할 주요성분은 Ni, Cr, C, Mn 등을 포함하고 있으며 불필요한 성분인 S, P등은 제한치 이하로 통제하여야 한다. 원재료중에 포함되어 있는 주요 성분비는 [표1]에 주어져 있으며 제품에 포함되어야 하는 성분비는 [표 2]와 같이 주어진다. 따라서 필요한 성분비의 상한치와 하한치를 고려하여 아래의 식으로 표시한다.

$$\text{하한성분비} \leq \frac{(\text{성분별 수율}) * \sum_i (\text{원재료별성분비})_i * (\text{원재료장입량})_i}{\text{총 용 탕 량}} \leq \text{상한성분비}$$

*원재료별 장입가능량

BIN 내에 저장되어있는 원재료는 저장능력, 혹은 조업의 다른 목적을 위하여 단위 CHARGE 당 원재료별 사용량을 제한하여야 한다.

$$(\text{원재료 장입량})_i \leq (\text{장입가능량})_i$$

***장입 원재료의 총용적**

원재료는 경량의 원재료와 중량의 원재료로 구분된다. 경량의 원재료를 많이 장입하게 되면 용탕의 중량을 맞추기 위해서는 많은 부피의 원재료를 투입하여야 함으로 전기로의 가용용적을 초과할 수가 있다. 따라서 장입되는 원재료의 총 용적이 전기로의 가용용적보다 적어야 함으로 다음 제약식을 얻을수 있다.

$$\sum_i (\text{원재료 장입량})_i / (\text{원재료 비중})_i \leq \text{전기로 가용용적}$$

***생석회 장입량**

용탕의 염기도 조정을 위하여 생석회를 투입하며 투입량은 아래의 식에 의하여 결정된다.

$$\text{생석회 장입량} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} * \frac{\text{SiO}_2}{\text{Si}} * 0.8 * \frac{\text{장입Si의양}}{\text{CaO 비율}}$$

***가탄제 장입량**

용탕중에 포함하고 있는 탄소 (C)의 필요량을 맞추기 위하여 가탄제를 투입하여야 하며 투입량은 아래와 같이 정하여진다.

$$\text{가탄제장입량} = (\text{용탕중의 최소 필요 탄소의양}) - (\text{용탕중의 탄소의양})$$

***산소 장입량**

$$\text{산소장입량} = (\text{총Si장입량} - \text{용탕중의 Si 의양}) * 0.8$$

이상과같이 목적함수 및 제약조건을 고려하여 수리계획 모형을 작성한 결과는 다음과 같다.

Minimize $TC = \sum_i (XCOST)_i * X_i$

Subject to

$$YST * \sum_i X_i = ST$$

$$LB_j \leq \frac{\sum_i Y_j * A_{ij} X_i}{ST} \leq UB_j$$

$$X_i \leq INVi$$

$$X_i / D_i \leq CAP$$

$$CAO = 1.4 * 2.14 * 0.8 * \sum_i S_{ii} / 0.93$$

$$O_2 = (\sum_i S_{ii} - S_{IST}) * 0.8$$

$$X_i \geq 0$$

- X_i : 장입되어야 하는 원재료 i의 량
- TC : 장입 원재료의 총비용
- $XCOST_i$: 원재료 i의 단위당 가격
- YST : 용탕의 수율
- A_{ij} : 총생산 용탕량
- LB_j : 용탕중에 포함되어야 하는 성분 j의 하한비
- UB_j : 용탕중에 포함되어야 하는 성분 j의 상한비
- INVi : 원재료 i의 장입 가능량
- D_i : 원재료 i의 비중
- CAP : 전기로의 가용용적
- CAO : 장입되어야 하는 생석회의 양
- O_2 : 장입되어야 하는 산소의 양

위와같이 준비된 수리계획 모형을 잘 알려진 International Mathematical & Statistical Libraries (IMSL)으로 부터 ZXOLP,ZX3LP,UERTST,UGET10,USPKD 등을 이용하여 프로그램을 작성하여 수리계획문제의 해를 구하도록 한다.

4. 입력자료의 판리

3 장의 [표 1], [표 2] 및 [표 3] 으로 주어진 원재료 자료, 제품의 요구성분, 성분별 수율 등은 정상적인 조입수준에 도달하게 되면 안정을 기할수 있으나 조입의 초기단계에서는 많은 변화가 있기 마련이다. [표 1] 의 원재료 자료에 나타나 있는 총 원재료의 수는 18개이다. 이는 스테인레스 공장내에 있는 18개의 BIN에 저장되어 있는 원재료로서 중점관리 대상이라 할수있다. 이러한 원재료들은 어느 한 원재료가 고갈되면 새로운 동종의 원재료를 구입하고 있으나 비록 동종의 원재료라 하더라도 가격은 물론 성분비, 비중등에서 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 [표 1] 에 주어진 수치들은 고정된 것이 아니고 항상 수정되어야 하기 때문에 무엇보다도 자료의 수정이 용이하게 자료의 File이 구성되어야 한다. 한편 [표 2] 의 제품별 요구 성분비도 생산하고자 하는 제품이 Austenite, Ferrite, Martensite 등에 따라서 달라져야 함은 물론이고 같은 Austenite 제품이라 하더라도 제품의 성분 구성비가 변할수 있으며, [표 3] 의 수율 역시 변화가 있음을 고려하여 용이하게 수정이 가능하여야 한다.

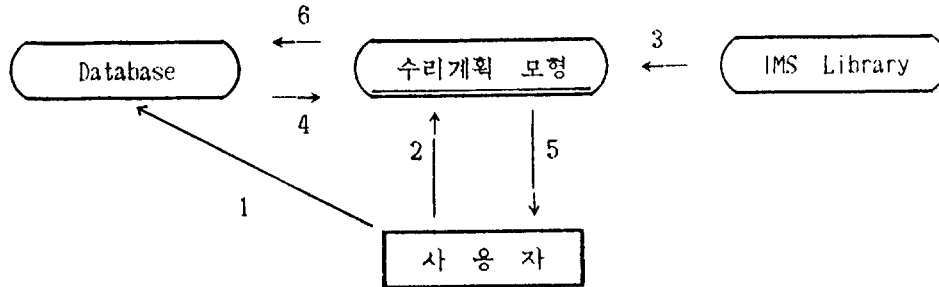
5. 원료장입모형 이용

본 원료장입 모형은 수리계획 문제의 해를 주는 수리계획부분, 수리계획에 필요한 Package 들을 포함하고 있는 IMS Library,그리고 원재료의 성분, 제품의 규격, 수율등의 자료를 가지고있는 Database부분의 3 개 부분으로 구성되어 있다. 이와같은 원료장입모형을 이용하여 최적원료 장입량을 결정하는 절차를 설명하면 아래와 같다.

장입량 결정에 앞서 Database에 저장되어 있는 모든 자료들을 검색하여 필요시 수정작업을 하여야 한다. 즉 [표 1], [표 2] 및 [표 3] 의 자료들은 제품의 종류, 원재료의 종류 및 조입과 관련된 수율등에 따라 변경되어야 하기 때문이다. 주어진 자료의 수정을 위하여서는 모형에대한 전문지식이 없는 경우에도 쉽게 수정이 가능하도록 사용자와 모형간의 컴퓨터 단말기를 통하여 대화식으로 구성되어 있다. Database에 대한 수정이 완료되어 모든 자료들이 정확히 저장되어 있음을 확인한 후에는 수리계획 모형을 가동시켜야 한다. 사용자가 모형을 가동시키게 되면 수리계획 모형에서는 IMS Library 로 부터 필요한 연산기능을 불러들이고 동시에 Database 로 부터 관련 자료들을 불러 수리계획 모형을 구성한후 계산을 통하여 최적 원료 장입량을 계산

하여 해를 제시하게 된다. 이와같이 제시된 해를 검토하여 이상이 없음이 확인되면 결정된 최적 장입량을 현장에 통보하여 이용하도록 하고 원재료 Database등을 수정한다.

위의 절차를 도식화하면 [그림 1] 과 같다.



- 1 : Database의 검색 및 수정함
- 2 : 수리계획 모형의 가동을 명령함
- 3 : 수리계획 모형의 가동에 필요한 연산기능을 IMS Library 로 부터 받음
- 4 : 수리계획 모형의 가동에 필요한 자료들을 Database로 부터 받음
- 5 : 수리계획 모형을 가동하여 최적 원료장입량을 계산하여 결과를 제시함
- 6 : Database에 포함된 자료중 필요부분을 수정함

[그림 1] 원료 장입모형의 이용 절차

6. 연구결과

원료장입 전산 모델에서는 각 성분함량 및 수율을 임의로 변화시킬 수 있다. 따라서 원가 구성에 주요한 영향을 초래하는 제약 조건을 파악할 수가 있으며, 이에 대응하는 기술 수준 향상을 우선적으로 추진할 수가 있다. 다양한 조건에서 스테인레스 강을 최소 비용으로 생산하는 모델을 운용하므로써 초기 운전중인 스테인레스 공장의 조업 안정에 필요한 자료를 제공하며, 품질향상 및 생산성 증대에 영향을 미칠수 있다.

전산화 이전과 전산화 이후의 용탕량 결과 및 가격 비교는 [표 4] 에 나타난 바와 같다. 스테인레스 구성 성분중 가장 중요한 Ni,Cr 을 포함하고 있는 주요 원료 사용량을 살펴보면, 전산화 이후에 Fe-Ni1과 Fe-Ni2의 장입량이 기존에 비해 증가했지만, 스테인레스 Scrap 을 효율적으로 사용한 결과, 총비용은 오히려 감소 했음을 알 수 있다. 이와같은 결과는 본 연구의 원료장입 전산모델이 고가의 원재료를 최소의 필요량만 투입하고 있음을 나타낸다.

전기료에 원료 장입시, 비중을 고려하여 장입량을 계산하였기 때문에 용해 시간을 단축하므로서 전력 원단위를 절감할 수 있으며, 전기료에 사용되는 전극봉, 내화물, W.C.P 등 부속품의 수명 연장 효과를 기대할 수 있다.

[표4] 장입량 및 원가 비교표

원 재 료	단 가 (\$/Kg)	장입량(Kg)		가 격(\$)		비 교
		A	B	A	B	
일반Scrap	0.155	19,851	20,241	3,076.91	3,137.36	60.45
STS Scrap	1.329	42,907	41,787	55,946.91	55,534.92	-411.99
Ch-Cr1	0.869	19,634	0	17,061.95	0	-30.88
Ch-Cr2	0.984	0	17,308	0	17,031.07	
Fe-Ni1	6.316	11,967	7,260	75,583.57	45,854.16	310.18
Fe-Ni2	4.321	0	6,952	0	30,039.59	
계		93,549	93,548	151,669.34	151,597.10	-72.24/Ch

(A:전산화 이전, B:전산화 이후)

이상의 열거한 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 최적 원료장입 모델의 개발을 통한 스테인레스 강의 제조원가 절감
2. 전산화된 모델을 이용하여 급변하는 원료의 가격 및 수급등에 신속히 대처
3. 고가 주요 원료들의 효율적관리
4. 계획 및 조업자료 분석을 통한 조업능률 향상 및 합리적 경영체제의 확립

7. 결 론

본 스테인레스 강 원료장입 전산모델은 입력 파라미터의 변동이 제한된 특수한 경우의 데이터 관리 프로그램이라고 말할 수 있으며, 현재의 정보 시스템은 의사결정 지원 시스템 (Decision Support System)의 방향으로 나아가고 있다. 이 시스템은 새로운 상황 발생시, 여러가지 수리모델을 통합한 모델을 만들어 이에 신속히 대처하게끔 해주는 좀더 유연한 종합 정보 관리 시스템이다.

구체적인 예를 들어 설명하면, 어느 특정 원재료의 수급이 불안정해질 경우 자재부서에서 이 원재료를 사용하는 생산부서의 데이터베이스에 자료를 입력 시켜주면, 생산부서의 특정 전산 모델은 이러한 정보를 고려한 새로운 생산계획을 세우는 것이다. 이와같이 각 부서간에 동기화

가 이루어지면 과학적 경영 및 생산성 증대효과를 유발하게 됨과 동시에 국제 경쟁력이 증가하게 된다.

본 연구에서는 결정 변수(Decision Variable), 성분 그리고 수율의 변동만 고려할 수 있게 하였다. 향후에는 현장작업자가 업무처리 중, 여러가지 상황변동에 유연하게 대처할 수 있도록 하기위해, 응이하게 제약 조건을 추가시키거나 삭제, 수정할 수 있는 정보시스템의 개발이 필요하다. 또한 최적해를 얻은 후, 입력 파라미터의 변동에 따라 최적해가 어떻게 변화할 것인가를 알수 있게 해주는 민감도 분석(Sensitivity Analysis)등의 결과해석을 수행하거나 정성적인 요인을 고려한 분석 및 해석가능 시스템이 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] Bradley ,S.P.,Hax,A.C. & Magnanti,T.L.,Applied Mathematical Programming, Addison-Wesley Publishing Co.,1977
- [2] Luenberger,D.G.,Introduction to Linear and Nonlinear Programming,Addison-Wesley Publishing Co.,1973
- [3] Shapiro,R.D.,Optimization Models for Planning and Allocation,John Wiley Sons,1984
- [4] Murty,K.G.,Linear Programming ,John Wiley Sons,1983
- [5] Hillier & Lieberman , Introduction to Operations Research,Holden-Day,1986
- [6] Taha,H.A.,Operations Research,Collier Macmillan,1982
- [7] Schrage,L.E.,User's Manual for LINDO, The Scientific Press,1981
- [8] IMSL Library Reference Manual,IMSL, Inc.,1982
- [9] Bazaraa,M.S.,Linear Programming and Network Flows,John Wiley Sons,1977
- [10] Beightler,C.S.,Foundations of Optimization,Prentice-Hall,1979