

## 발전기 효율향상 및 비용절감을 위한 연료배분에 관한 연구 A Study on Fuel Distribution for Generator's Efficiency and Cost Saving

박찬형

경북 포항시 남구 동촌동 5번지 (주)포스코 공정출하부 IE팀

### Abstract

포항제철소에는 13개의 발전기가 있어 제철소에서 필요로 하는 전력을 자체적으로 945MWH 규모로 공급하고 있다. 발전소에서 사용되는 에너지원은 제철공정에서 부수적으로 발생하는 부생가스(BFG, COG, LDG, CFG)와 외부에서 구매하는 중유, LNG가 있다. 안정적인 전력공급과 비용절감을 위한 발전기 가동계획을 수립하기 위해서는, 조업상황에 따라 변동되는 전력소요량 및 부생가스 발생량을 예측하여 발전기별로 사용될 연료량을 배분하고, 발전기별 효율을 반영한 발전량을 결정하게 된다. 이러한 발전기 가동계획 수립을 수작업에 의존하고 있어, 수시로 변화하는 상황에 신속한 대처가 곤란하고, 모든 요소를 고려하기가 어려워 에너지비용을 절감할 수 있는 기회손실의 우려가 있었다.

본 연구에서는 LP 및 NLP를 적용하여, 발전기별 연료배분 및 발전량을 결정하는 과정을 자동적으로 수행하는 발전기 가동계획수립 Model을 개발하였다. Data 입·출력용으로 Excel, LP Package는 What's Best, Programming Language는 VBA(Visual Basic for Application)를 활용하였다.

### 1. 서론

포항제철소에서는 자가 발전량이 제철소의 전력수요를 충족하지 못할 경우는 수전(한전으로부터 구매한 전력)을 사용하고, 잉여 전력이 발생할 경우는 역송(한전으로 잉여 전력 판매)을 한다. 특히, 부생가스는 사용하지 않고 남을 경우 방산(소각처리)하기 때문에, 구입연료(중유, LNG) 대비 우선적으로 사용하여야 한다. 효과적인 발전기 가동계획을 수립하기 위해서는 조업상황에 따라 변동되는 전력수요량 및 부생가스 발생량, 발전기별 상이한 효율 및 발전능력, 시기별 변화하는 발전비용(수전, 역송, 구입연료 단가 등) 및 발전기 수리계획 등을 고려해야 한다. 이러한 복잡한 상황을 반영한 발전기 가동계획 수립업무는 수작업에 의존한다는 것은 효율 측면에서 한계가 있다.

발전소의 운전자는 제철소 전체 전력부하가 항상 변동하므로, 이에 대처하기 위해서 한

전으로부터의 수전량과 자가 발전소의 발전출력량의 조절이 신속히 이루어지도록 소내 전체적인 상황을 신속하게 감지하고 대비해야 하는 부담을 가지고 있다. 기존의 발전기 가동계획 수립은 각 공장의 가동계획을 기반으로 전력수요 및 부생가스 수급예측을 한 다음, 발전기 가동상태, 발전비용 등을 고려하여, Excel Sheet에서 담당자의 수작업에 이루어지고 있다. 부생가스 배분방법에 있어서는 발전기의 효율을 구체적으로 고려하지 않고, 단지 우선순위에 따라 배분함으로써 최적배분 개념에 위배된다. 자가발전소의 발전량은 설비특성과 소내 전력부하량, 연료조건, 수전단가, 역송단가, 발전단가 등 다양한 요소를 고려하여 결정되어야 하지만 실질적으로 그 복잡성으로 인해 전체비용을 최소화하지 못하고 있었다. 조업 조건변동에 따라 에너지 운전조건의 변화가 심하므로, 실질적인 비용최소화는 운전원들의 고도의 운전 경험과 종합적인 해석능력을 필요로 한다. 그리고 운전원마다 운전범위와 운전방법에 있어서 차이가 있으므로 이를 System적으로 구현하는데는 어려움이 따른다.

본 연구에서는, 각 시간대별 부생가스 발생량 및 전력의 수급예측 정보를 이용하여, 각 발전기의 특성에 따라 부생가스를 배분하고, 구입연료비용, 수전단가, 역송단가 등을 고려하여 월, 일, 시간대별 가장 경제적인 자가발전량, 수전량 및 역송량을 자동으로 결정하여, 전력공급의 안정성 및 발전비용 최소화를 도모하고자 하였다.

### 2. 발전설비 보유현황

포항제철소에서 가동되고 있는 발전기의 종류는 크게 2가지로 분류될 수 있다. 첫째는 여러 부생가스 및 중유를 에너지원으로 사용하는 기력발전이고, 다른 하나는 LNG만을 사용하는 LNG발전이다.

#### 2.1 기력발전

기력발전은 보일러와 T/G(Turbin Generator)로 구성되어 있으며, 에너지원으로 사용되어지는 부생가스는 코크스 공정에서 발생하는 COG(Cokes Oven Gas), 코렉스공정에서 발생하는 CFG(Corex Furnace Gas), 고로공정에서 발생하는 BFG(Blast Furnace Gas), 그리고 제강공정의 전로조업에서 발생하는 LDG(Linz and Donawitz Gas)가 있다. 이러한 부생가스들

은 발전소 이외의 공장에서 열원으로 사용되고 남은 양이 발전소로 보내어지게 되는데, 각 공장의 조업조건에 따라 발생량과 소비량의 변화가 심하여 에너지의 효율적이고 안정적인 관리에 어려운 점이 많다.

기력발전기의 보일러에서는 다종의 연료가 사용되므로 각 사용연료에 대한 보일러 효율의 연구가 어려운 실정이다. 보일러별 사용 가능한 연료의 종류 및 양이 각기 다르고, 각 부생가스가 생산할 수 있는 열량 또한 다르다. 부생가스는 쓰고 남은 부문에 대해서는 태워 버려야 하기 때문에, 관리가 소홀할 경우 에너지 낭비의 위험성이 있다. 각 발전기별 Turbin을 기동할 경우, 최소한으로 유지해야 하는 발전량 및 최대 발전 가능량의 제약이 있다.

발전소의 주기능은 전력을 공급하는 것이지만, 조업에 필요한 열원을 공급하는 부수적인 기능도 있다. 발전기의 Turbin을 돌릴 Steam의 일부를 빼내 제철소내의 열원으로 공급하는데 이를 추기량이라 한다. 추기량은 전력발생에 지장이 없으면서 발전기의 효율이 좋은 범위내에서 결정된다. 각 보일러마다 운전에 필요한 최소한의 부생가스가 공급되는 것이 보안량으로 불써 역할을 하게 된다.

## 2.2 LNG 발전

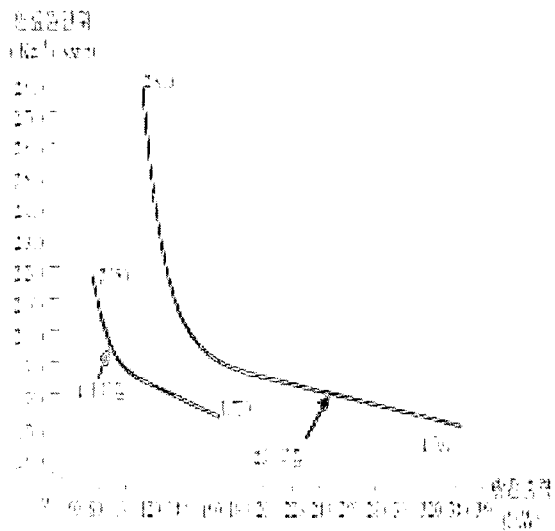


그림 1. 발전패턴별 연료원단위 및 출력범위

LNG발전에서는 LNG만을 열원으로 사용하고 있으며, 2기의 CTG(Combustion Turbin Generator)와 1기의 STG(Steam Turbin Generator)로 구성되어 있다. LNG발전 패턴에는 1기의 CTG와 1기의 STG를 가동하는 1기 복합과, 2기의 CTG와 1기의 STG를 가동하는 2기 복합으로 주로 운영되는데, 그림 1. 에서와 같이 발전패턴에 따라 연료원단위(kcal/kwh)

및 출력범위가 상이하다. 특히, 연료원단위는 비선형적인 특성을 가지고 있어 수작업에 의해 최적 발전패턴과 발전량을 결정하는데 어려움이 있다.

그리고 포항제철은 안정적인 LNG공급을 목적으로 KOGAS와 향후 4년간의 사용물량을 확정하였다. 따라서 계약물량의 일부를 사용하지 않아도 그 비용을 지불해야 하기 때문에 월별 사용물량을 배분하고 그것을 기본적으로 사용하여야 하는 제약이 있다.

## 3. 발전기 가동계획 최적화 모델

발전소는 제철소 공정에서 발생하는 부생가스의 최종 사용처로서, 각 보일러와 터빈 발전기의 고효율 운전을 통한 전력의 안정적 공급과 에너지비용 최소화를 목적으로 하고있다. 효과적인 발전을 위해서는 발전소 전체에 대한 연료 및 발전량 배분이 필요하며, 또한 제철소 전체의 전력 소요량과 연료조건에 따라 자가 발전비율을 결정하는 모델을 설정하여 전력소비에 따라 발전량을 효율적으로 운영하여 전반적인 코스트를 줄일 필요가 있다. 우선적으로 소내 전력소요량, 연료조건, 수전단계, 역송단계에 따라 자가발전 및 수전비율을 결정하고, 자가발전량을 각 발전기별로 최적배분하는 수리적 모델 개발이 필요하다.

### 3.1 모델 구성

이번에 개발한 발전가동계획 수립 모델은 크게 4 부분으로 나눌 수 있다. 첫째, Data 입력 부분으로 부생가스 예측량, 전력소요량, Steam공급량, 발전기 수리계획 등과 같이 시간대별로 변화하는 부문과, 보일러용량 및 발전 능력, 부생가스별 기준용량, 중유단가, LNG 사용 계약량 및 단가, 수전·역송 요금 및 Max 계약량 등 시간대별로는 자주 변화하지 않는 부문의 입력으로 나누어진다. 둘째, 발전기별 부생가스 배분 최적화 부분으로, 발전소로 보내어지는 부생가스들을 각종 제약조건을 만족시키면서 발전량을 최대로 하는 배분을 목적으로 한다. 셋째, 발전유형별 계획수립 최적화 모델 부분으로, 부생가스를 이용하여 결정된 발전량 이외의 전력부하를 어떤 방법으로 충당하면 가장 효율적인가를 결정하는 부분이다. 이렇게 발전기 가동계획 수립을 두 부분의 최적화 모델로 나눈 것은, 우선적으로 구매비용이 들지 않는 부생가스를 활용하여 발전량을 최대로 하기 위함이다. 넷째, Model에서 나온 결과를 조정하는 부분이다. 제철공정의 특성상 비용절감 측면에서만 발전기를 운영할 수 없는 이유는 조업의 안정성이 먼저 보장되어야 하기 때문이다. 단 몇 분이라도 전력이 공급되지 않으면 조업 중인 공장에서 엄청난 손실을 입게 된다. 따라서 Model에서 나온 결과를 그대로 사용하기 보다는 사람이 개

입하여 조업의 안정성 측면에서 조정하는 기능을 필요로 하게 된다.

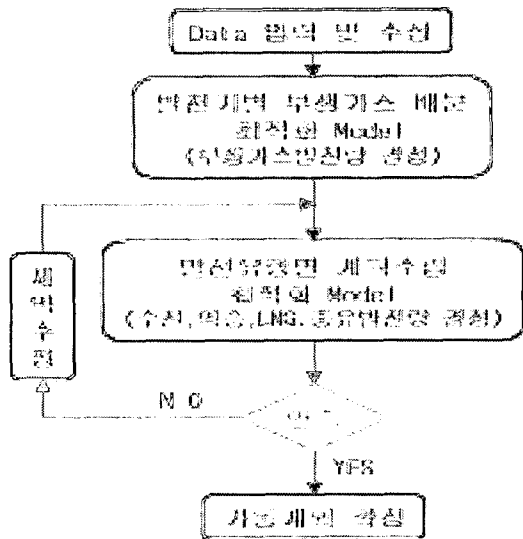


그림 2. 발전기 가동계획 수립 Flow

### 3.2 발전기별 부생가스 배분 최적화 모델

발전량 최대화가 가능토록 소내 부생가스를 각 보일러별로 배분하는 모델이다. 제약조건으로는 각 보일러 설비특성상 소비될 수 있는 연료의 종류가 다르고, 또한 연료의 사용량도 최소, 최대 제약조건이 있다. 그리고 부생가스별로 전체 배분된 양의 합이 공급 가능한 양보다는 작아야 된다. 보일러별로는 조업용 Steam공급에 필요한 열량을 우선적으로 공급하여야 하며, 최소 및 최대 발전량 제약을 준수하여야 한다. 목적함수는 투입되는 연료를 열량으로 환산한 다음, 발전기별 효율을 고려하여 생산되는 발전량을 최대화하는 것이다. 결과로는 시간대별 및 보일러별 각 부생가스의 배분량 및 각 발전기의 발전량이다.

### 3.3 발전유형별 계획수립 최적화 모델

발전을 위한 총비용(LNG 및 증유구입, 수전, 설비기동 비용 등)을 최소화하는 각 발전기의 시간대별 발전계획을 수립하는 모델이다. 제약조건으로는 각 발전기의 발전능력이 고려되어야 한다. 그리고 한전과의 수전·역송량도 한도가 정해져 있어 준수해야 한다. 그리고 Demand의 개념이 있는데, 이는 15분 평균전력의 Max치로서 수전 기본요금 산정기준이 된다. 한번 갱신된 Demand는 향후 수전 기본요금이 지속적으로 반영되기 때문에 적정수준을 정하여 그것을 넘지 않도록 관리해야 한다. 목적함수로는 시간대별 각 비용을 최소화하는 것이고, 결과로는 시간대별 자가발전량, 에너지비용, 연료사용량, Demand예측치 등이 산출되고, 사용자 편의를 위해 전력부하 추이그래프가 제공된다.

### 3.4 모델적용 및 Test

발전기 가동계획수립 Model의 업무적용을 위하여, Data 입·출력과 Model의 목적함수 및 제약조건의 표현은 Excel Sheet와 VBA를 이용하여 System화 하였으며, Solution을 도출하기 위한 Package는 What's Best를 활용하였다. 특히 이번에 개발한 Model은 IF, Max, 2차 이상의 함수식 등 비선형 요소를 많이 포함하고 있기 때문에 What's Best에서 제공하는 비선형을 선형으로 변환하는 기능을 활용하여 해결하였다. 그러나 기본적인 계획수립 기간이 월 단위이기 때문에, 한꺼번에 최적값을 도출하기가 곤란하므로 시간대별 최적해를 나누어 구한 다음, 월별로는 적정 Run Time에서 종료하여 Feasible Solution 수준에서 만족하도록 하였다. 그림 3은 Excel Sheet에서 구현된 발전기 가동계획 System의 초화면을 보여주고 있다.

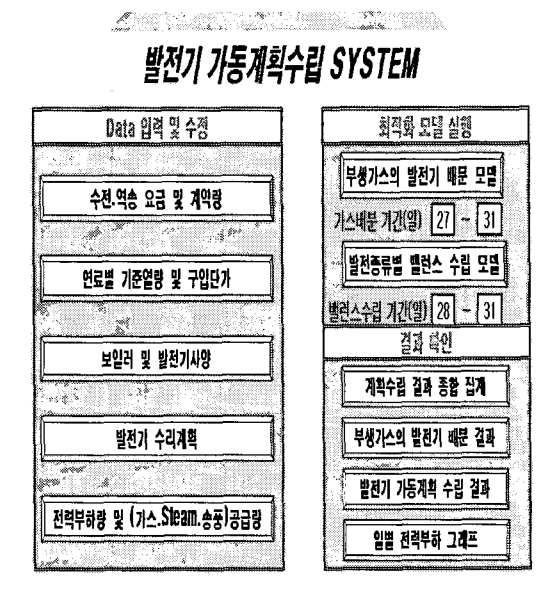


그림 3. 발전기 가동계획수립 System초화면

Model의 성능 Test 및 에너지 비용절감의 효과를 측정하기 위하여 과거 3개월 동안의 수작업 계획과 Model의 Solution을 비교분석한 결과, 연간으로 14억원의 에너지 비용이 절감될 것으로 기대되었다.

### 4. 결론

본 연구에서는 포항제철소의 발전기 가동계획수립을 함에 있어 발전효율 향상 및 비용절감을 위하여, 각 발전기의 특성과 효율을 고려하여 각 부생가스를 발전기별 배분을 하였다. 또한, 소내 부하량과 발전소의 연료 사용가능량에 의한 발전단가, 수전단가, 역송단가

에 따라 자가발전과 수전의 최적 발전비율과 각 발전소의 발전량을 결정하며, 부생가스의 부족과 방산 등을 방지, 에너지 손실을 최소화 하는 것을 목적으로 하였다. 이번 발전기 가동 계획수립 System의 개발로 경제적인 자가 발전량, 수전 및 역송량 비율 결정을 통한 연료 배분의 효율화는 물론 기존 수작업 업무부하를 경감할 수 있게 되었다.

향후 연구과제로는, 부생가스 발생량 및 전력소요 예측의 자동화 부문으로, 이는 조업 상황에 따라 변화가 심하여 특정 Model로 구현하기가 어려운 점이 있지만 생산계획 System과의 On-Line Interface를 통하여 예측정도 향상이 기대된다.