

전기로 조업에서의 작업 단위 편성

박형우, 신동민, 홍유신
포항공과대학교 산업공학과

Abstract

Steel making using EAF(Electric Arc Furnace) consists of three major processes: molten steel making, slab casting and hot rolling. Orders from customers, which includes their requirements such as composition, order quantity with allowable range, width, thickness, and unit weight of coils etc, are grouped as charges for EAF to enhance the productivity of the furnace.

This paper develops an efficient grouping algorithm for charges in the EAF by exploiting the order characteristics: the allowable ranges of furnace capacity, order quantity, and unit weight of coils. Numerical test shows that the proposed heuristic works very efficiently and the results are quite satisfactory.

1. 서론

현대 산업사회에서 가장 중요한 소재인 철강을 생산하는 공정은 크게 두형태로 구분될 수 있다. 먼저 포항제철과 같이 철광석을 원료로 하는 고로(Blast Furnace)에서 철강을 생산하는 일관공정을 들 수 있으며, 동부제강, 연합철강 등과 같이 고철을 원료로 하여 전기로(Electric Arc Furnace)에서 철강을 생산하는 공정을 들 수 있다. 고로 중심의 일관 생산공정은 대량 생산 위주의 공정으로서 고품질의 철강을 생산할 수 있다는 장점을 갖고 있으나 주문으로부터 납기까지의 주기가 길어지며 투자가 엄청나게 요구되는 단점을 갖고 있는 반면에 전기로 공정은 품질은 다소 떨어지나 생산주기를 단축할 수 있고 적은 투자로 건설할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 최근 일관 생산공정의 포항제철에서도 전기로 조업을 위한 공정을 건설 중에 있으며 본 논문에서는 이러한 전기로 조업에서 고객들의 다양한 주문으로부터 경제적인 작업 단위를 편성하는 효율적인 기법을 제시하여 전기로 조업의 생산성을 향상시키는 방안을 제시하였다.

2. 문제의 정의

철강의 생산공정을 보면 다음과 같다. 최초의 공정인 전기로는 고철을 주원료로 하여 용강(molten steel)을 생산한다. 전기로에서 생산된 용강은 5-7 Charge 를 묶어 하나의 cast 를 편성하여 연주공정에서 slab 로 주조되고 주조된 slab 를 수요가의 요구 단중으로 절단한후 압연공정에서 최종 제품인 코일(coil)을 생산하여 수요가에게 공급된다. 일반적으로 수요가로부터의 주문에는 강종, 주문량(허용 오차 범위 포함), 코일의 폭, 두께, 허용단중의 범위 등과 같은 항목들을 포함하고 있다. 전기로의 조업을 위하여는 먼저 주문들을 모아 전기로의 작업단위인 Charge 를 편성하게 되는데 Charge 를 편성하는데 있어서 고려되어야 할 제반 조건 및 특성 등을 검토하여 보면 아래와 같다.

- 하나의 Charge 는 반드시 단일 강종으로 편성되어야 하며 한 Charge 의 양은 전기로의 처리용량(포항제철의 경우 130 톤)에 준하여 결정되나 조업에서 허용하는 범위가 있다(포항제철의 경우 120 톤-140 톤).
- 한 Charge 에 포함되는 주문들은 최종 제품인 코일의 폭의 범위가 조업이 허용하는 범위 이내에 포함되어야 한다(포항제철의 경우 5mm). 일반적으로 전기로 조업에서 한 Charge 에 포함되는 주문들이 반드시 폭이 정해진 범위 내에 포함되어야 되는 것은 아니나 전기로 다음 공정인 연주공정에서의 생산성 증대를 위하여 이 조건은 반드시 지켜져야 한다.
- 최종 제품인 코일의 단중은 압연설비의 능력 범위(포항제철의 경우 10-30 톤)이내에서 수요가가 요구하는 허용 범위에 기준하여 결정된다. 코일의 단중은 수요가의 허용 범위에 포함되면 되나 수요가의 만족도를 증대하기 위하여 가능한 한 한주문에 포함되는 코일들은 같은 단중으로 생산되는 것이 바람직하며, 동시에 조업의 생산성을 올리기 위하여 최대 허용단중으

로 생산함을 원칙으로 하고 있다.

- 철강업의 특성상 수요가에의 최종 인도량은 주문량에서 어느 정도의 오차를 허용하고 있다 (포항제철의 경우 주문량의 약 10%). 그러나 최종 인도량은 수요가 요구 단층의 허용 범위 이내의 단층으로 반드시 분할이 가능하여야 한다.

이러한 조업의 특성 및 조건들을 고려하여 전기로의 조업을 위한 효율적인 Charge의 편성방안을 제시하고자 한다. 본 문제는 Bin Packing 문제[1]의 변형으로 정의될 수 있다. Bin Packing Problem은 잘 알려진 바와 같이 NP-Complete 문제로 최적해를 구할 수 있는 알고리즘이 존재하지 않기 때문에 효율적인 발견적 기법(Heuristic)이 요구된다.

3. 알고리즘

Charge 편성의 대상이 되는 주문에는 강종, 주문량, 주문폭, 단층 범위, 인도허용량(%), 폭 공차, 두께, 납기 등을 포함하고 있다. 이러한 특성치들 중에서 Charge를 편성하는데 고려되어야 할 특성치는 강종, 주문량 및 인도허용 범위, 주문 폭 및 허용 공차, 단층의 범위 등이나 강종은 앞에서 설명된 바와 같이 하나의 Charge는 반드시 한 강종의 주문으로 편성되어야 하기 때문에 Charge 편성 알고리즘과는 무관하다. 앞절에서 설명된 제반 조업 조건 및 특성에 준하여 본 논문에서 제안된 알고리즘은 다음과 같다.

```

algorithm Make_Charges;
begin
  Input Orders to Order_List;
  Sort Order_List By Ascending Width;
  for Order in Order_List do
    begin
      Charge ← NULL;
      Sort Order_List By Descending Qty
        within Same Width;
      Make_One_Charge(Order, Charge);
      If Charge is not NULL then
        Unit_Weight_Coil_Setting(Charge);
        Append Charge to Charge_List;
      else Go to next Order;
    end;
  end;

```

```

Procedure Make_One_Charge(Order, Charge);
begin
  QL ← 120, QU ← 140;

```

```

  Sum += Order_Qty;
  Make_Width_Range(Order, Charge);
  Width_Constraints_Check(Order, Pass);
  If Pass is false then Sum ← 0,
    Charge ← NULL,
    return;
  If Sum < QL then
    Append Order to Charge,
    Expand_Order_Qty(Order, Charge);
    If Charge is Success then Sum ← 0,
      return;
  else Go to next Order,
    Make_One_Charge(Order, Charge);
    If Charge is Success then Sum ← 0,
      return;
  else if QL <= Sum <= QU then
    Append Order to Charge,
    Charge ← Success;
    Sum ← 0,
    return;
  else if Sum > QU then
    Append Order to Charge,
    Contract_Order_Qty(Order, Charge);
    if Charge is Success then Sum ← 0,
      return;
  else
    Search_Right_Order(Order, Charge);
    If Charge is Success then Sum ← 0,
      return;
    else Divide_Order(Order, Charge);
    Sum ← 0,
    return;

```

end;

```

procedure Unit_Weight_Coil_Setting(Charge);
begin

```

```

  for Orders in Charge do
    begin
      Try to set coils with max unit weight;
      Try to set coils with low variance
        of unit weight;
    end;
  end;

```

end;

```

procedure Make_Width_Range(Order, Charge);
begin

```

```

  W_ALLOWANCE ← 5;
  If Charge is NULL then
    LW ← Width of Order,
    UW ← LW + W_ALLOWANCE;
  end;

```

end;

```

procedure Width_Constraints_Check(Order, Pass);
begin

```

```

  If LW <= Width of Order <= UW then
    LW ← Width of Order,
    Pass ← true;
  else Pass ← false;

```

end;

```

end;

procedure Expand_Order_Qty(Order, Charge);
begin
  for Orders in Charge do
  begin
    Expand Order_Qty to upper limit;
    if QL <= Charge_Qty <= QU then
      Charge ← Success,
      return;
    end;
  end;
end;

procedure Contract_Order_Qty(Order, Charge);
begin
  for Orders in Charge do
  begin
    Contract Order_Qty to lower limit;
    if QL <= Charge_Qty <= QU then
      Charge ← Success,
      return;
    end;
  end;
end;

procedure Search_Right_Order(Order, Charge);
begin
  for Orders with same width do
  begin
    Make_One_Charge(Order, Charge);
    if Charge is Success then return;
    Go to next Order;
  end;
end;
end;

procedure Divide_Order(Order, Charge);
begin
  Copy Order to Inserted_Order,
  Insert it to Order_List,
  Order_Qty ← QU - Charge_Qty;
  Inserted_Order_Qty
  ← Order_Qty - Order_Qty;
end;

```

위의 알고리즘의 주요 특징 및 내용을 요약 설명하면 다음과 같다.

- 동일 강종의 주문들을 주문폭의 내림차순으로 정렬하여 순차적으로 Charge를 편성함에 따라 서로 다른 폭을 가진 주문들로 Charge를 편성하는 것보다 Charge의 폭의 허용 범위가 커지게 되어 후공정인 연주공정의 Cast 편성율을 향상시킨다.
- 동일폭의 주문들은 주문량의 내림차순으로 정렬하여 Charge를 편성한다. 이러한 접근 방법은 잘 알려진 LPT(Longest

Processing Time First) 알고리즘의 장점을 이용한 방법으로서 주문량이 큰 주문일수록 인도 허용 범위가 크기 때문에 Charge 편성을 용이하게 함과 동시에 주문량이 작은 주문들의 분할 가능성을 최소화한다.

- 주문이 분할되어 서로 다른 Charge에 포함되는 경우를 최소화하기 위하여 각각의 주문의 Charge 편성을 시도할 때 인도 허용 범위내에서 생산량을 변화시키며 Charge에 포함 가능성 여부를 확인한다. 만약 편성 시도된 주문이 현재의 Charge에 포함될 수 없는 경우에는 동일폭의 작은 주문들을 순차적으로 Search하여 Charge에 포함 가능한 주문을 찾게 되며 이러한 주문이 없을 경우에는 미편성된 주문중에서 가장 큰 량의 주문을 분할하여 현재의 Charge 편성을 완료한다. 주문량이 큰 주문의 경우 인도 허용 범위가 크기 때문에 분할이 되더라도 주어진 단중 범위를 만족하는 값을 쉽게 찾을 수 있는 장점이 있다.
- 단중의 편성에 있어서 주어진 단중의 범위내에서 단중을 결정하되, 생산성을 고려하여 최대 허용 단중을 우선적으로 고려하되 코일의 수를 최소화함과 동시에 한 주문에 속한 코일들의 단중 편차를 최소화한다.

4. 알고리즘의 성능 평가

본 논문에서 제안된 Charge 편성 알고리즘의 성능 평가를 위한 수치실험을 수행하였다. 앞에서 설명된 바와 같이 본 문제는 잘 알려진 NP-Complete 문제로 최적해를 구할 수 없어 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위하여 아래와 같은 방법을 선정하였다. 먼저 충분한 량의 주문 데이터를 현장으로부터 수집하여 위에서 제안된 알고리즘을 이용하여 Charge를 편성한다. Charge가 편성되면 적지 않은 미편성 주문들이 남게 되는데 이러한 미편성 주문들을 주문 리스트에서 삭제하고, 기편성된 주문들은 주문폭, 단중 등을 편성된 Charge의 허용 범위내에서 변경하게 되면 하나의 최적 Charge 편성이라 할 수 있다. 이와 같은 절차를 거쳐 3가지의 주문 데이터(약 1일분 2,920톤, 약 3일분 9,913톤, 약 1주일분 20,220톤)를 준비한후 다시 주문들을 풀어 본 논문에서 제안된 알고리즘을 적용하여 Charge를 편성한 근사해를 준비된 최적 편성해와 비교하였다.

제안된 알고리즘을 적용한 근사해는 [표 1]에 제시되었다. 먼저 데이터 1의 경우 20개의 주문(주문량: 2,920톤)으로 Charge를 편성한 결과 22개의 Charge(2,927톤)가 편성되어 모든 주문을 소화함으로써 100%의 편성율을 나타내었다. 다만 최적해의 경우 5개의 주문만이 둘 이상의 단중으로 편성되었으나 근사해에서는 7개의 주문들이 둘 이상의 단중으로 편성되었으며, 분할된 주문의 수가 하나 증가하였다. 데이터 2에 있어서는 73개의 주문(주문량: 9,913톤)에 대한 Charge 편성 결과를 보면 총 73개의 주문중 71개의 주문은 전량 편성되었고, 하나의 주문은 부분적으로 또 하나의 주문은 Charge에 편성되지 못함에 따라(미편성 주문량: 102톤) 약 99%의 편성율을 보이고 있다. 실제 주문량과 편성된 양에 있어서 차이(280톤)를 보이고 있는 것은 Charge를 편성하는 과정에서 인도 허용량의 범위내에서 주문량이 조정되었기 때문이다. 특히 데이터 2의 경우 둘이상의 단중으로 편성된 주문의 수가 최적해의 경우보다 1개 감소하였고, 동시에 분할된 주문의 수는 10개나 감소되었음을 볼 수 있다. 마지막으로 1주일 분의 데이터에 해당되는 데이터 3의 경우에는 총 164개의 주문(주문량: 20,220톤)으로부터 154개의 Charge(편성량: 20,261톤)가 편성되고 4개의 주문이 부분적으로 편성되지 못함으로써(미편성 주문량: 73톤) 약 99.6%의 편성율을 보여주고 있다. 특히 데이터 3에서는 최적해에서 편성된 157개의 Charge가 근사해에서는 154개로 줄어들어 적은

수의 Charge로 많은 주문을 만족시킴으로써 전기로의 생산성을 향상시키고 있다. 한편 둘이상의 단중을 포함하는 주문의 수는 약 11개 증가하였으며 분할된 주문의 수도 14개가 증가하였다. 위의 편성 결과와 함께 평균 Charge의 포함된 양이 약 132톤으로 나타나고 있음으로부터 본 논문에서 제안된 알고리즘은 매우 만족스러움을 보여주고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 전기로 공정에서의 작업 단위인 Charge를 편성하는 효율적인 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 수치실험을 통하여 효율적임과 동시에 최적해에 매우 가까운 근사해를 제시함을 입증하였다. 현재 이 연구 결과는 포항제철(주) 광양제철소에 건설 중인 Mini Mill의 생산 일정 계획 시스템의 한 부분으로서 포함되어 시험중에 있으며 시험과정에서 발생하는 조업상의 새로운 제약이나 조건들을 반영하여 현장에서 유용하게 이용될 수 있는 알고리즘으로 발전시키기 위한 지속적인 연구가 계속될 것이다.

참고문헌

[1] Garey, M. R. and Johnson, D. S., Computers and Intractability. A Guide to the Theory of NP-Completeness, W. H. Freeman and Company, 1979

[표 1.] Charge 편성 결과

데이터	주문수 (주문량)	Charge수 (편성량)	미편성 주문수 (주문량)	이단중편성 주문수 (근사해/최적해)	분할주문수 증감 (근사해-최적해)	편성율 (주문만족율)
1	20(2920톤)	22(2927톤)	0(0톤)	7/5	+1	100.0 %
2	73(9913톤)	73(9531톤)	2(102톤)	26/27	-10	99.0 %
3	164(20220톤)	154(20261톤)	4(73톤)	91/80	+14	99.6 %