

다중 목적함수 최적화기법을 이용한 전기강판 생산 공정설계

정제숙*, 변상민, 김홍준, 황상무
포항공과대학교 기계공학과

Process Design of Electric Steel by a Multiple Objective Optimization

J. S. Chung, S. M. Byon, H. J. Kim, and S. M. Hwang
Department of Mechanical Engineering
Pohang University of Science and Technology (POSTECH)

ABSTRACT

The investigation deals with the process design in cold rolling mill of electric plant. In this study, multiple objective optimization is conducted by a genetic algorithm, where the fitness values are evaluated on the basis of one - dimensional model of flat rolling. The approach is applied to the determination of the process conditions which are optimal with regard to minimization of roll power and maximization of productivity.

1. 서론

소성가공 공정을 설계하고자 할때 설계자는 비용, 안정성, 생산성등 여러가지 사항을 고려 하게 되고 따라서 동시에 두개 이상의 값에 대한 최적화가 요구된다. 보통 이러한 문제에 대한 최적화 방법으로는 최적화를 목표로하는 값들간의 관계를 어떤함수로 정의하여 하나의 목적함수로 바꾼다음 일반적인 최적화 이론을 적용한다. 그러나 많은 경우 이 값들간의 관계를 정의하는 함수를 잘 정의하기는 쉽지 않다. 다중 목적함수 최적화(Multiple Objective Optimization)[1,2]란 두개 이상의 목적함수가 벡터량으로 정의된 값을 찾는 방법이다. 하나의 목적함수가 스칼라량으로 정의되어 한 점을 찾는 방법과는 달리 pareto optimal sets이라 불리워지는 여러 점들의 집합을 찾

는다. 이 점들은 벡터의 한 성분만을 비교하면 우열이 가려지지만 모든 성분을 비교하면 우열을 알 수 없다. 그러므로 어떤 의미에서 이 점들은 모두 최적의 값으로 볼 수 있다. 스칼라 값의 목적함수에 대한 최적화 방법으로 유전알고리즘은 여러 분야에서 성공적으로 적용되었다. 특히 목적함수가 두개 이상의 극값을 가지는 함수에 대해서는 미분을 바탕으로 하는 최적화 방법으로는 목적으로 하는 값을 정확히 찾기 어려우므로 이러한 경우 유전알고리즘의 사용은 매우 유용하다. 본 연구에서는 이미 개발된 수정된 미소유전 알고리즘(Modified Micro Genetic Algorithm, 이하 MMGA)[3]에서 사용된 기법을 이용하여 두개 이상의 목적함수를 다룰수 있는 최적화 기법을 개발하였다. 개발된 기법을 이용하여 전기강판 생산 공정에 적용하였는데 해석은 1차원 판 압연 이론[4]을 이용하였다.

2. 초등 판압연 이론

2.1 압연 하중의 계산

압연하중은 단위 폭당 압연하중(F)과 스트립의 폭(W)을 곱함으로써 구할 수 있다.

$$\text{Roll Force (RF)} = F \cdot W \quad (2.1)$$

단위 폭당 압연하중(F)은 다음과 같이 장력이 작용하지 않을 때의 압연하중(P)과 장력으로 인해서 생긴 압연 하중(ΔF)으로 나눌 수 있다.

$$F = P + \Delta P \quad (2.2)$$

장력이 작용하지 않을 경우 압연하중(P)는 다음식에 의해서 구할 수 있다.

$$P = k_m \sqrt{R \Delta h Q_p} \quad (2.3)$$

여기서, k_m 은 평균 평면 변형 항복강도를 나타내고 R 은 탄성변형 후의 롤 반경을 나타내며 Δh 는 입측, 출측 스트립 두께 차이이고 Q_p 는 Hill이 제안한 근사식으로써 다음과 같다.

$$\Delta P = -R [\sigma_o \phi_n + \sigma_i (\phi_i - \phi_n)] \quad (2.4)$$

σ_o 와 σ_i 는 각각 전방장력과 후방장력을 나타내고 ϕ_n 은 중립각인데 다음식에 의해서 구할 수 있다.

$$\zeta = \frac{h_o}{R} \quad (2.5)$$

$$H_i = \frac{2}{\sqrt{\zeta}} \tan^{-1} \left(\frac{\phi_i}{\sqrt{\zeta}} \right) \quad (2.6)$$

$$H_n = \frac{H_i}{2} - \frac{1}{2\mu} \ln \left\{ \frac{h_i}{h_o} \left(\frac{1 - \frac{\sigma_o}{k_o}}{1 - \frac{\sigma_i}{k_i}} \right) \right\} \quad (2.7)$$

$$\phi_n = \sqrt{\zeta} \tan \left(\frac{\sqrt{\zeta}}{2} H_n \right) \quad (2.8)$$

여기서, h_i , h_o 는 각각 스트립의 입측, 출측 두께를 나타내고 k_i , k_o 는 각각 입

측, 출측에서의 스트립의 평면 변형 항복강도를 나타낸다.

2.2 압연 토오크의 계산

압연 토오크는 압연하중에서와 마찬가지로 단위 폭당 압연 토오크(T)와 스트립의 폭(W)을 곱함으로써 구할 수 있다.

$$\text{Roll Torque (RT)} = T \cdot W \quad (2.9)$$

단위 폭당 압연 토오크(T)는 다음과 같이 장력이 작용하지 않을 때의 압연 토오크(G)와 장력으로 인해서 생긴 압연 토오크(ΔG)로 나눌 수 있다.

$$T = G + \Delta G \quad (2.10)$$

장력이 작용하지 않을 경우 압연 토오크(G)는 다음식에 의해서 구할 수 있다.

$$G = k^* \frac{R \Delta h}{2} H_G \quad (2.11)$$

여기서, k^* 는 평균 평면변형 항복강도를 나타내고 R은 초기 롤 반경을 나타내며 Δh 는 입측, 출측 스트립 두께 차이이고 H_G 는 Hill이 제안한 근사식으로써 다음과 같다.

$$H_G = 1.05 + (0.07 + 1.32r) \frac{\mu}{\phi_i} \sqrt{r} - 0.85r \quad (2.12)$$

여기서, r , μ , ϕ_i 는 압연 하중 계산할 때의 기호와 동일하다. 장력이 작용할 경우 압연 토오크(ΔG)는 Hill의 근사화 방법에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta G = \frac{R}{2} (1 + f_s) h_o (\sigma_i - \sigma_o) \quad (2.13)$$

여기서, f_s 는 선진율을 나타내고 σ_o , σ_i 는 각각 전방장력, 후방장력을 나타내고 h_o 는 입측 스트립 두께를 나타낸다.

2.3 압연 동력의 계산

압연 동력은 압연 토오크(RT)와 롤의 각속도(ω)를 곱함으로써 구할 수 있다.

$$\text{Power} = RT \cdot \omega \quad (2.14)$$

3. 다중 목적함수 최적화 기법

스칼라 값에 대한 최적화 방법과는 달리 최적화 대상의 값이 벡터량으로 주어지는 경우 이들 값에 대한 비교의 방법을 정의하여야 한다. 보통의 최적화 방법에서는 벡터량으로 목적함수가 주어지는 경우 주어진 값에 가중치를 주어 더하거나 최소자승법으로 스칼라량으로 만들어 최적화 작업을 수행한다. 그러나 이때 가중치를 어떻게 주느냐에 따라 다른 결과를 얻게 되고 이 값을 정의하는 일은 많은 사전 정보가 없는 경우에는 어려운 일이다. 최소자승법 또한 벡터량의 각 성분에 대한 변화율을 무시하는 방법이므로 바람직한 결과를 얻기 어렵다. 다수의 목적함수 최적화 방법에서는 pareto optimal set이라 불리워지는 값들을 찾고 이 값들을 바탕으로 최적화 한다. pareto optimal set의 값들은 어떤 두점간의 절대적인 우열이 없는 점들이다. 대부분

의 목적함수들은 서로 다른 물리량을 가지므로 각각에 대하여 교배하여야 하며 거리가 0이 아닌 이상 교배 대상의 두점은 같지 않으므로 돌연변이는 필요없다.

4. 전기강판생산 공정에 적용

본 연구에서는 방향성 소재인 HGO를 압연하는 경우에 대하여 현장에서 조절 가능한 변수를 조절하여 모터에 걸리는 부하를 정격부하 이하로 낮추고 생산성 향상을 도모할수 있는 공정 조건을 도출하는데 목적을 둔다. 먼저 압연압연코일을 만들기 위해서 주어진 공정조건은 다음과 같다.

- 소재폭(b) : 996 mm
- 소재입측두께(H_i) : 2.3 mm
- 소재출측두께(H_o) : 0.285 mm
- 비중(γ) : 7.65 ton/mm³
- 무게(W) : 25 ton

현장에서 조절가능하고 목적함수에 가장 큰 영향을 미치는 각패스에서의 판두께, 전후방 장력, Line Speed등을 설계변수로 두고 이들 변수와 해석결과에 가해지는 구속조건은 다음과 같다.

- 전후방 장력 ; 20ton 이하
- Roll force ; 1500 ton 이하
- 중립각 ϕ_n ; $0 < \phi_n < \phi_i$
- Line speed ; 400mpm이상 1000mpm이하
- 압하율 ; $0.1 < r_1, r_2, r_3 < 0.6, 0.1 < r_4 < 0.35, 0.1 < r_5 < 0.3$
- $\frac{T_{f_i}}{A_{f_i}} < Y_p \cdot 0.6$ $\frac{T_{b_i}}{A_{b_i}} < Y_p \cdot 0.6$

T_{f_i}, T_{b_i} ; 입출측 장력

A_{f_i}, A_{b_i} ; 판의 입출측단면

본 연구에서 사용한 두가지의 목적함수는 다음과 같다.

- 각 패스마다 모터에 걸리는 부하의 최대값
- 1코일 생산에 걸리는 시간

$$t = \sum_{i=1}^5 t_i, \quad t_i = \frac{s_i}{v_i} = \frac{V}{bh_i v_i}$$

5패스 압연중 각 패스에 걸리는 최대 부하량을 예측하고 이값을 최소화시키는 것이 하나의 목적함수이고 나머지 하나는 5패스 압연에 소요되는 시간을 최소화 시키는 것이다. Fig. 1에는 예측값들의 분포를 나타내었고 pareto front에 속하는 점들은 실선위에 나타내었다. 점선으로 된 부분은 각각 기존의 공정에서 소요된 압연시간과 모터의 100 % 전격용량이다. 즉 이 점선 이내에 존재하는 점들은 모두 기존의 공정보다 우수한 결과를 낼수 있으며 특히 pareto front에 속하는 점들은 어떤 면에서 모두 최적의 공정조건들이다.

5. 결론

하나의 목적함수의 최적화를 위하여 개발한 유전알고리즘 MMGA를 이용하여 두개 이상의 목적함수를 최적화 할수 있는 기법을 개발하였다. 본 연구에서는 1차원 판압연 이론에 의한 전기강판 생산 공정에 적용하였지만 개발된 기법의 적용범위는 광범

위한다. 압출, 단조, 압연공정의 모든 문제들에 대하여 본 방법을 적용할수 있다. 그러나 유전알고리즘을 바탕으로 한 방법이므로 수많은 반복계산이 요구되므로 하나의 공정을 해석하는데 소요되는 시간이 많다면 적용하기에 어려움이 있다. 전기강판 생산공정의 적용처럼 간단하게 근사해를 구할수 있는 경우나 압출공정처럼 짧은 시간에 공정을 해석할수 있다면 더욱 유용하게 적용할수 있다. 그러나, 시간적인 어려움 이외에는 어떤 문제도 없으므로 컴퓨터의 성능이 발전하는 속도에 견주어 볼때 단조공정과 같은 비정상상태 공정의 해석에도 광범위하게 적용될수 있을것으로 예상된다.

6. 참고문헌

- [1]. Carlos M. Fonseca and Peter J. Fleming, "Genetic Algorithms for Multio - bjective Optimization : Formulation, Discussion and Generalization," Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms, 1993, pp. 416-423
- [2]. Schaffer, J. D. "Multiple Objective Optimization with Vector evaluated Genetic Algorithms," In Grefenstette, J.J., editor, Proceedings of the First International Conference on Genetic Algorithms, 1985, pp. 93-100, Lawrence Erlbaum
- [3]. Chung, J.S. and S.M. Hwang, "Application of Genetic Algorithm to Die Shape Optimal Design in Extrusion," Journal of Material Processing Technology, accepted.
- [4]. Bland, D.A. and Ford, H. "The Calculation of Roll Force and Torque in Cold Strip Rolling with Tensions," Proc. Instn. Mech. Eng., Vol.159, 1948, pp. 144-153

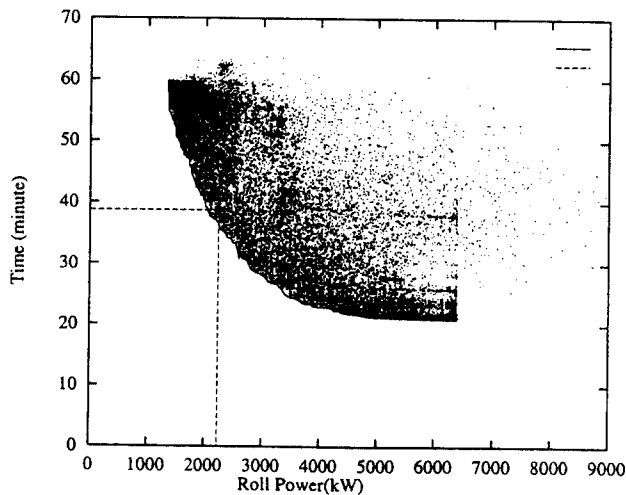


그림 1: 해석 결과로부터 얻은 두 목적함수 사이의 관계