

MINLP 를 이용한 제지 공정의 파지 손실 최소화

Minimization of Trim Loss Problem in Paper Mill Scheduling Using MINLP

나 성 훈^o, 고 대 호*, 문 일**

^o연세대학교 화학공학과(Tel : +82-2-363-9375; Fax : +82-2-312-6401; E-mail: nash@bayaba.yonsei.ac.kr)

*연세대학교 화학공학과(Tel : +82-2-363-9375; Fax : +82-2-312-6401; E-mail: kdh@bayaba.yonsei.ac.kr)

**연세대학교 화학공학과(Tel : +82-2-361-2761; Fax : +82-2-312-6401; E-mail: ilmoon@yonsei.ac.kr)

Abstract : This study performs optimization of paper mill scheduling using MINLP(Mixed-Integer Non-Linear Programming) method and 2-step decomposing strategy. Paper mill process is normally composed of five units: paper machine, coater, rewinder, sheet cutter and roll wrapper/ream wrapper. Various kinds of papers are produced through these units. The bottleneck of this process is how to cut product papers efficiently from raw paper reel and this is called trim loss problem or cutting stock problem. As the trim must be burned or recycled through energy consumption, minimizing quantity of the trim is important. To minimize it, the trim loss problem is mathematically formulated in MINLP form of minimizing cutting patterns and trim as well as satisfying customer's order. The MINLP form of the problem includes bilinearity causing non-linearity and non-convexity. Bilinearity is eliminated by parameterization of one variable and the MINLP form is decomposed to MILP(Mixed-Integer Linear programming) form. And the MILP problem is optimized by means of the optimization package. Thus trim loss problem is efficiently minimized by this 2-step optimization method.

Keywords : trim loss problem, MINLP(Mixed-Integer Non-Linear Programming), bilinearity, parameterization

1. 서론

1.1 제지 공정

일상 생활에서 큰 비중을 차지하고 있으며 컴퓨터의 사용이 증가하면서 더욱 수요가 늘어나고 있는 종이는 그 용도에 따라 여러 가지의 규격과 평량을 필요로 한다. 제지 공장에서는 폭이 넓은 원료 종이를 만든 후 이를 규격에 맞는 크기로 잘라 내어 일정한 규격에 맞는 종이를 만들어 낸다.

일반적으로 제지 공정은 펄프에서 종이를 만드는 초지공정(paper machine process), 종이에 코팅재를 입힘으로써 일정한 수준의 평량과 품질, 광택을 유지하게 하는 코팅공정(coating process), 만들어진 종이를 일정한 길이로 감는 롤링공정(rewinding process), 롤링공정에서 만들어진 원료 종이 롤을 규격에 맞게 자르는 절단공정(sheet cutting process), 규격에 맞게 잘라진 종이를 포장하는 포장공정(roll wrapping/ream wrapping process)의 단계로 구성되어 있다.

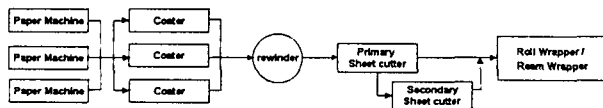


그림 1. 제지 공정의 개략도

1.2 파지 손실 문제(Trim-Loss Problem)

제지 공정의 여러 단계 중 절단공정에서는 여러 종류의 규격을 충족시키기 위해 폭이 일정한 원료 종이 롤을 분할하여 수요에 맞는 규격의 종이를 생산하게 된다. 일정한 크기의 원료 종

이에서 여러 종이를 생산하기 위해 정해진 절단 패턴에 따라 종이를 자르게 되는데, 원료 종이에서 절단 패턴에 따라 규격에 맞는 종이를 잘라내고 나면 여분의 파지가 발생하게 된다. 이때, 원료 종이의 크기는 일정하고 생산되는 종이의 폭의 합은 수요에 따라 바뀌므로 파지의 양도 절단하는 패턴에 따라 달라지게 된다. 이 파지는 다시 에너지를 투입하여 소각하거나 재활용 공정을 거쳐야 하므로 이러한 파지의 발생량을 최소화하면서 수요자의 주문을 충족시켜야 하는 파지 손실 문제(trim loss problem or cutting stock problem)는 제지 공정에서 경제적, 환경적으로 매우 중요한 문제이다.

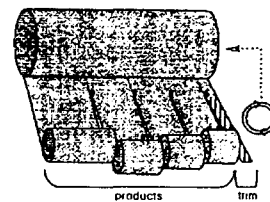


그림 2. trim loss

1.3 연구의 목적

본 연구에서 대상으로 삼은 공정은 원료 종이 한 롤에 대해 최대 다섯 종류의 종이를 만들어낼 수 있는 절단공정의 파지 손실에 대한 최적화 문제이다. 이전에는 경험적인 방법(heuristic method)으로 이러한 파지 손실 문제에 대처하였으나 최근에는 이 문제를 MINLP(Mixed-Integer Non-Linear Programming) 기법을 이용하여 최적화하려는 노력이 시도되었고 이 과정에서 나타난 bilinearity 를 해소하기 위해 여러 방법이 시도되어 왔다. 본 연구에서는 두 정수 변수의 곱으로 나타내어진 bilinearity 를 보이는