

제지 공정의 효율적인 충전제 투입에 대한 동적 시뮬레이션 적용

함충현 · 윤혜정[†]

(2003년 3월 10일 접수; 2003년 6월 20일 채택)

Application of Dynamic Simulation for Efficient Filler-Loading in Papermaking System

Choong-Hyun Ham and Hye Jung Youn[†]

(Received on March 10, 2003; Accepted on June 20, 2003)

ABSTRACT

The complexity of the papermaking system accelerates interactions between a large number of variables involved. The process operation, therefore, is subject to frequent perturbations by disturbance. Dynamic modelling is a useful tool for characterizing the transient behavior and selecting the best control strategies to reject disturbances. In this study we developed a dynamic simulation model of a fine paper production process, which consists of stock preparation, wire sections, white water circulations, and broke system. It focused on dynamic simulation in its role for developing control strategies and studying control loop dynamics related to filler loading for ash control. The results emphasized the importance of filler-loading position and length of control loop for rapid ash control and process stabilization.

1. 서론

제지 공정은 물과 에너지를 이용하여 펄프로부터 종이를 만드는 연속적인 공정이다. 200여개의 단위 설비를 거치면서 끊임없이 농도와 성상이 바뀌고, 하나의 단위 공정 조건 변화는 이후 공정 뿐 아니라 여러 가지 종이 물성의 변화를 야기한다. 또한 섬유의 손실, 배출수의 유량, 청수의 사용을 감소시키기 위해 다량의 섬유와 백수가 복잡한 순환 시스템을 통해 재활용되어지는데, 이러한 순환 시스템이 복잡할수록 연관된 많은 공정 변수들 사이의 상호작용이 가속화되어 공정

의 복잡성은 더욱 심해진다.

이와 같이 복잡한 초지 공정에서 발생하는 다양한 변화에 관한 연구는 일반적으로 실험적으로 모사된 단위 장치를 이용하거나, 현장에서의 테스트를 통해 진행된다. 그러나 실험실적 모사의 경우 단위 설비의 효능을 예측하는 데는 도움이 되지만, 연속된 공정에서의 변동이나 규모가 확대된 상황에서의 효과 파악에는 한계가 있다. 반면 현장 테스트의 경우 실제 변동을 파악할 수는 있지만, 기대하지 않은 변수의 영향을 배제하기 힘들며 제품의 생산과 직결된 상황에서 다양한 시도가 이루어지기 어렵다. 이러한 한계를 극복하고자

· 서울대학교 농업생명과학대학 임산공학과(Department of Forest Products, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea)

[†] 주저자 (Corresponding author): E-Mail: page94@snu.ac.kr

근래에는 시뮬레이터를 이용하여 초기 공정을 분석하고자 하는 노력들이 진행되고 있다. 지금까지 보고된 시뮬레이션의 적용은 정상 상태에서 시도된 것이 일반적이며, 동적 응용에 있어서는 공정 폐쇄화 시 백수의 성상 변화^{1~2)} 혹은 지질 발생³⁾에 관한 연구가 대부분이다.

공정 시뮬레이션은 공정을 구성하는 각 단위 공정과 파이프라인에서의 물질 및 에너지 수지를 계산하는 것이다. 이러한 공정 시뮬레이션을 이용하면 공정 설계 시 질적인 향상과 비용 절감을 꾀할 수 있다. 또한 합리적인 시뮬레이션을 통해 공정의 크고 복잡한 문제를 쉽게 파악할 수 있다. 그리고 공정에 새로운 설비를 추가하고자 할 경우, 발생할 수 있는 문제를 미리 예측하고 적절한 운전조건을 제시해 줌으로써 설비의 안정화를 더욱 신속하게 달성할 수 있다.^{4~6)} 또한 제지공정에서 발생하는 외란이 임의적이긴 하지만, 가장 보편적인 상황에 대한 전 공정에서의 반응을 시뮬레이션을 통해 해석하는 것은 복잡한 순환 시스템의 설계와 제어 개선을 위해 필요한 많은 정보를 제공한다.

이에 본 연구에서는 지료 조성 및 초기 공정의 변동에 대한 동적 시뮬레이션 활용을 통해 각 단위공정에

서 나타나는 변화 양상을 파악하고, 이를 통해 안정된 공정 운영이 가능할 수 있는 방안을 탐색하고자 하였다. 대상 모델은 백상지 생산 공장의 지료조성부와 초지부, 백수 내부 순환계, 파지 시스템으로 구성된 공정이었다. 공정 변화의 대상으로는 생산되는 종이 내 회분 함량 증가에 관한 것으로, 회분 함량이 원하는 수준에 도달하는 동안 충전제 투입량과 투입 방식의 변동으로 인해 발생하는 불안정성이 초지계에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공정모델

일반적인 백상지 생산 공정을 대상으로 하였으며 상세한 공정 흐름도를 Fig. 1에 도시하였다. 생산량은 750 tons/day이었고, 지료 조성부, 파지처리시스템, 믹스체스트에서 헤드박스에 이르는 어프로우치 시스템, 와이어 파트와 백수순환 시스템으로 구성되었다.

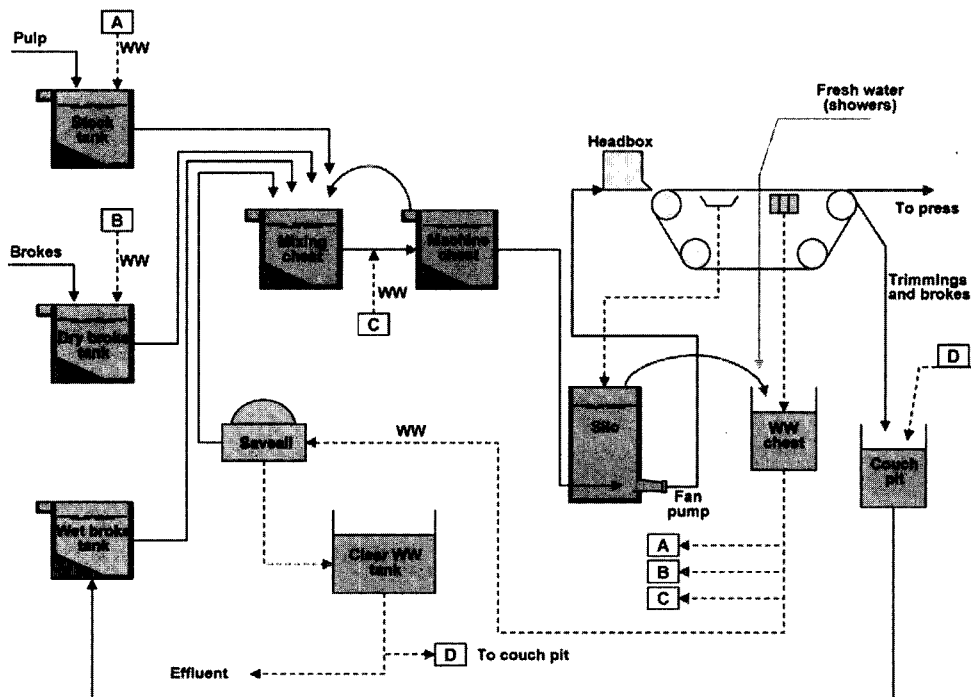


Fig. 1. Simulated wet-end flow diagram.

헤드박스에서 사출된 지료는 와이어 파트에서 탈수되는데, 와이어 전반부와 후반부에서 탈수된 물은 각각 다른 저장조에 수집되므로 이를 고려하여 와이어 파트를 자연탈수부와 진공탈수부로 구분하였다. 자연탈수부와 진공탈수부에서 탈수된 배수는 각각 사일로와 배수체스트에 수집된다고 가정하였다. 또한 보류도는 동일하다고 가정하였다.

모델 공정에 사용되는 저장조인 각종 체스트와 탱크는 완전 혼합형 연속식 저장조로서 저장조의 지료농도는 저장조 내의 위치에 관계없이 일정하다고 가정하였다. 그리고 각 단위공정에서 수위 조절과 유량 조절이 요구되어지는 곳은 PI-control 방식을 통해 제어가 되도록 구성하였다. PI-control은 비례-적분 제어 동작으로서 이 제어기의 전달함수는 비례이득(proportional gain, 이 후 gain이라고 함)과 적분시간(integral time)으로 이루어져있다. 비례이득은 출력함수와 오차함수의 비를 나타내며, 적분시간의 역수는 재설정율(reset rate)로서 이는 제어 동작의 비례부분이 단위 시간당 복제되는 횟수를 의미한다. PI-control에서 적분시간은 적분 제어 동작만 조절하는 반면, 비례이득은 비례 및 적분 제어 동작 모두에 영향을 미친다.⁷⁾

2.2 시뮬레이터

본 연구에서는 상용 시뮬레이터인 Pacific Simulation 사의 WinGEMS Ver 5.0을 이용하였다. 이 시뮬레이터는 펄프 및 제지 공정을 모사하기 위해 개발된 전용 시뮬레이터로 다양한 단위 공정의 라이브러리를 갖고 있는 장점이 있다.

2.3 시뮬레이션 대상 및 외란

외란이란 시스템의 출력값에 나쁜 영향을 미치는 신호를 의미하며, 시스템 내부 또는 외부에서 발생할 수 있다. 외란이 발생했을 때 즉, 공정의 운전조건으로 설정한 초기 설정치 중 한 변수가 갑자기 변화되었을 때 시간에 따른 공정의 변화는 동적 시뮬레이션을 통해 알아볼 수 있다. 본 연구에서는 아래의 두 가지 경우를 대상으로 하여 동적 시뮬레이션을 적용하였다.

- 1) 회분 함량의 조절을 위한 충전제의 투입 위치
- 2) 회분 함량의 조절을 위한 제어 루프의 길이

외란으로 운전시간이 30분일 때 생산되는 종이의

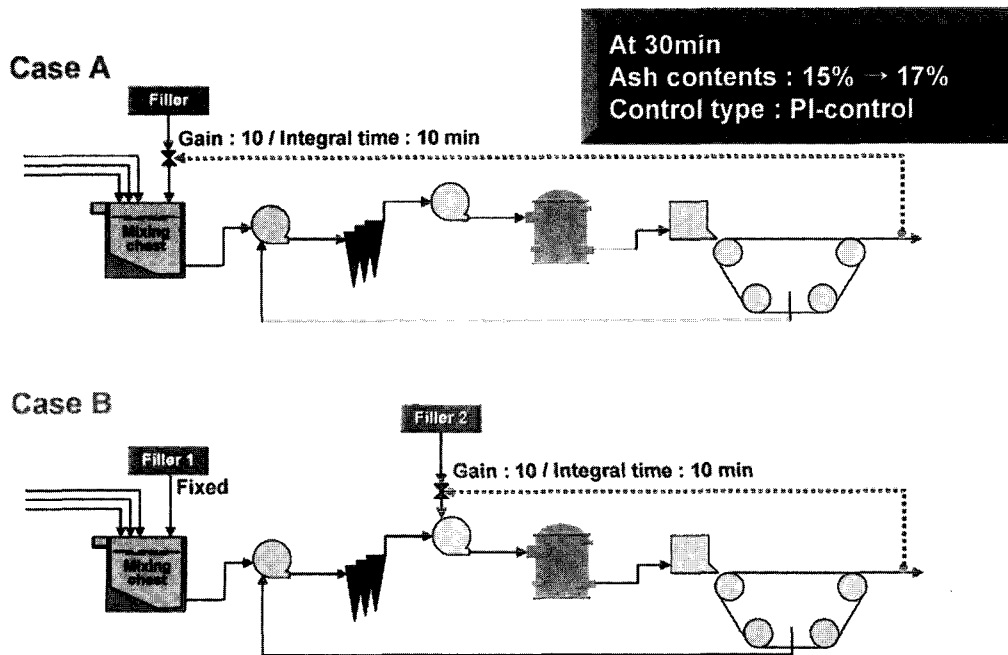


Fig. 2. Different position of filler loading for ash control.

회분 함량을 기존의 15%에서 17%로 증가시키는 것을 설정하였다. 외란이 발생한 후 충전제 투입 유량, 머신 체스트와 사이로 내 충전제 분율, 제품 내 회분 함량 및 평량 등의 공정 변화를 살펴보았다. 제어 방식은 PI-control이었으며, 이후에 언급되어질 비레이득과 적분시간은 시뮬레이터인 WinGEMS에서 제어 모듈에 사용되는 수치로서 실제 현장에서 설정하는 수치와는 다를 수 있다.

2.3.1 충전제의 투입 위치

Fig. 2는 생산되는 종이의 회분 함량 조절을 위한 두 경우의 충전제의 투입 위치를 보여주고 있다. Case A는 제품으로부터 회분 함량을 모니터링하여 믹싱체스트에서 충전제의 투입량을 조절하여 목표 회분 함량을 맞추어 가는 방식이다. 이때 투입량 조절방식은 PI-control 방식이었으며, 비레이득 값은 10, 적분시간은 10분으로 설정하였다. Case B는 믹싱체스트에 고정된 투입량으로 충전제(Filler 1)가 투입되고 회분 함량의 조절을 위해 팬 펌프에 충전제(Filler 2)를 투입하는 방식이다. Case A와 마찬가지로 Filler 2 위치에서 투입하는 충전제는 PI-control 방식에 의하여 제어되었다. PI-control을 위해 설정한 비레이득은

10, 적분시간은 10분이었다.

2.3.2 제어 루프의 길이

Fig. 2의 Case B의 충전제 투입 방식에서 투입량을 조절하기 위해 회분 함량을 모니터링하는 위치를 Fig. 3과 같이 두 가지 형태를 고려하였다. LONG의 경우 회분 함량을 생산되는 제품으로부터 모니터링하고, SHORT의 경우 헤드박스에 유입되는 지료의 회분 비율을 모니터링하여 회분 함량을 조절하도록 설정하였다. 그리고 충전제의 투입량 조절을 위해 PI-control

Table 1. Setting of gain and integral time for PI-control

Control loop	Expression	Gain	Integral time
LONG	G04/I10	4	10
	G20/I10	20	10
	G20/I10	20	10
	G20/I20	20	20
SHORT	G04/I10	4	10
	G10/I10	10	10
	G04/I01	4	1
	G04/I05	4	5

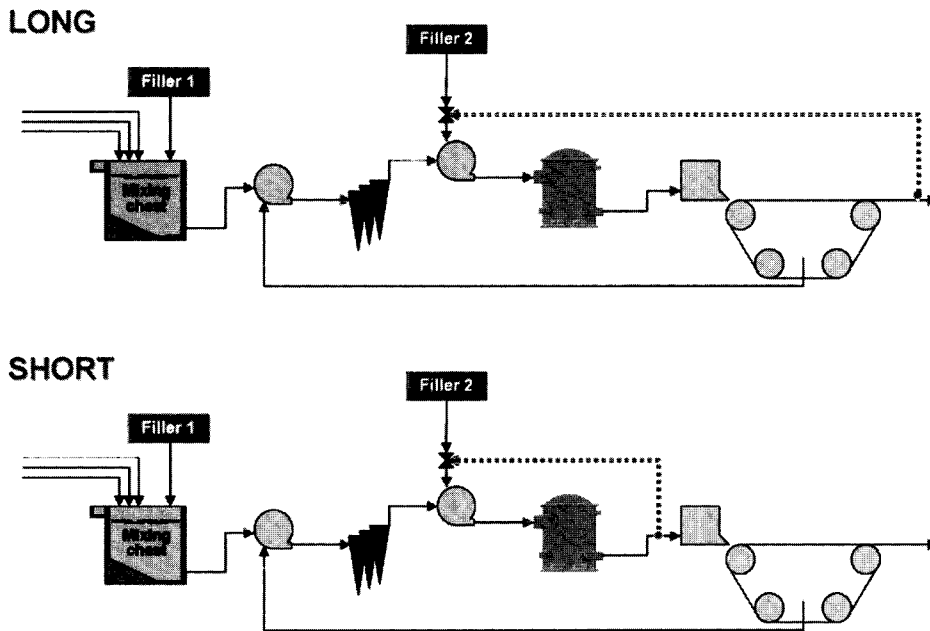


Fig 3. Long Control loop and short control loop.

방식을 취하였으며, 비레이득과 적분시간은 아래 Table 1과 같이 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 충전제의 투입 위치

Fig. 2에서 보는 바와 같이 Case A는 회분 함량의

조절을 위해 충전제를 백수의 long circulation에 위치한 믹싱체스트에 투입하고, Case B는 백수의 short circulation에 위치한 팬펌프에 충전제를 투입한다. 이러한 차이로 인해 Fig. 4-(a)와 같이 30분에 종이 내 회분 함량을 15%에서 17%로 올리고자 충전제의 투입량을 증가시킬 때, Case A의 경우 Case B보다 많은 양의 충전제 투입이 요구되어졌다. 시간에 따른 충전제 투입량의 변화는 생산되는 제품의 회분 함량 변화 양상에 영향을 주었다(Fig. 4-(b)). 충전제의 투입량 변화는 사일로에서의 회분 비율에도 영향을 미치는

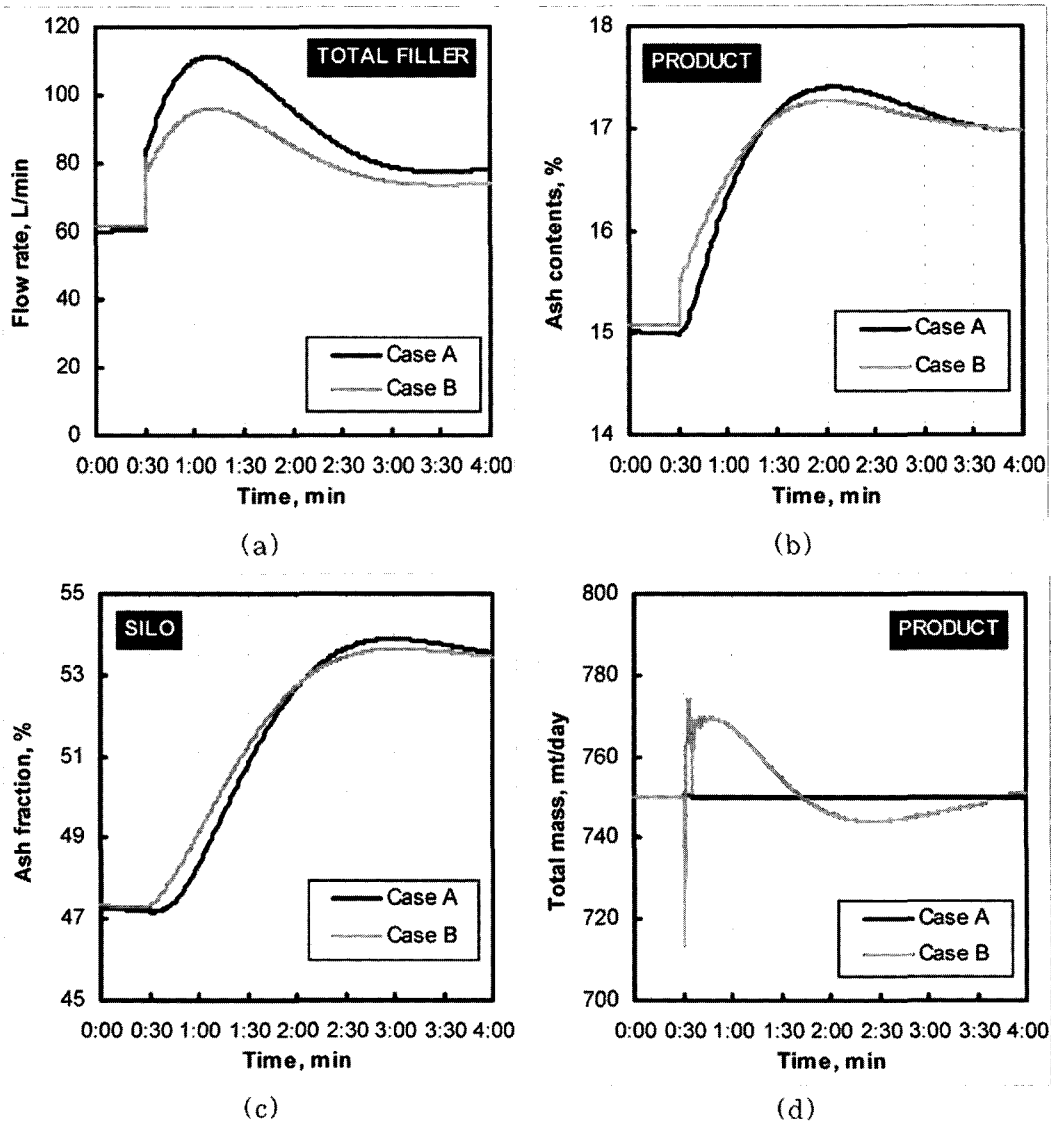


Fig 4. Effect of different filler-loading position on ash control.

데 백수의 short circulation에 위치한 팬펌프에 충전제를 투입하는 Case B의 경우 충전제의 투입량 변화에 더 빠르게 반응하고, 안정화되는 시간도 짧은 것을 알 수 있었다(Fig. 4-(c)). 그러나 Fig. 4-(d)에서처럼 Case A의 안정적인 생산량 추이와 달리 Case B는 충전제의 투입 변화에 대하여 상당히 민감하게 변하는 양상을 나타내었다. 생산량을 초속과 지폭으로 나누면 제품 평량으로 표현할 수 있기 때문에, 생산량의 시간에 따른 변화가 크다는 것은 평량 변동으로 인한 불량

품이 생산될 가능성이 높다는 것을 의미한다.

3.2 제어 루프의 길이

회분 함량의 조절과 관련하여 충전제의 투입 조절을 위한 제어 루프의 길이가 공정 변화에 미치는 영향에 대하여 알아보려고 하였다. 또한 제어를 위해 PI-control 방식을 취하였는데 이때 비례 제어를 위한 비

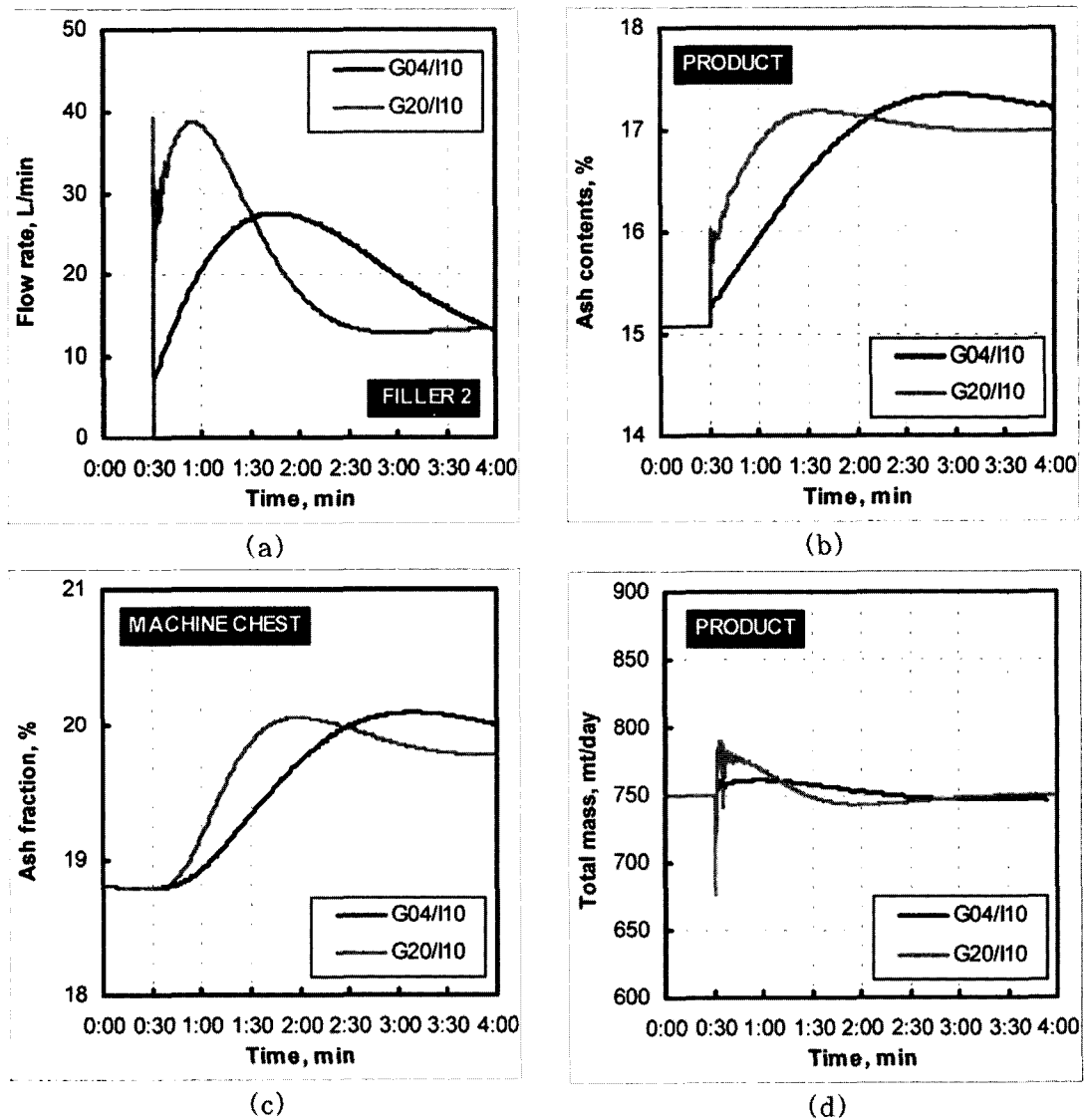


Fig. 5. Effect of controller gain on ash control in long control loop.

레이득과 적분 제어를 위한 적분시간이 갖는 의미에 대해 살펴보았다.

3.2.1 Long control loop

Long control loop의 경우 Fig. 3에서와 같이 생산되는 종이로부터 회분 함량을 모니터링하여 충전제의 투입량을 조절하는 방식을 취하고 있다.

Fig. 5에 long control loop에서 gain 값의 영향에 대해 도시하였다. (a)는 Filler 2로 투입되는 충전제의

유량 변화를 보여주며, (b)는 생산 제품 내 회분 함량의 추이를, (c)는 머신체스트 지료 내 충전제 분율을, 그리고 (d)는 제품 생산량을 보여주고 있다. 비레이득 값은 발생된 에러에 대해 비례 제어하는 상수 값으로서, 값이 클수록 에러에 반응하는 정도가 크다.⁸⁾ Fig. 5-(a)에서 G04/I10은 서서히 투입량이 증가하여 1시간 45분되는 시점에서 최고값을 나타내었으며, G20/I10은 초기에 큰 폭의 변화를 보이며 급격하게 증가하여 1시간되는 시점에서 피크값을 나타내었다. 이러한 차이는 생산되는 제품의 회분 함량 추이에서도

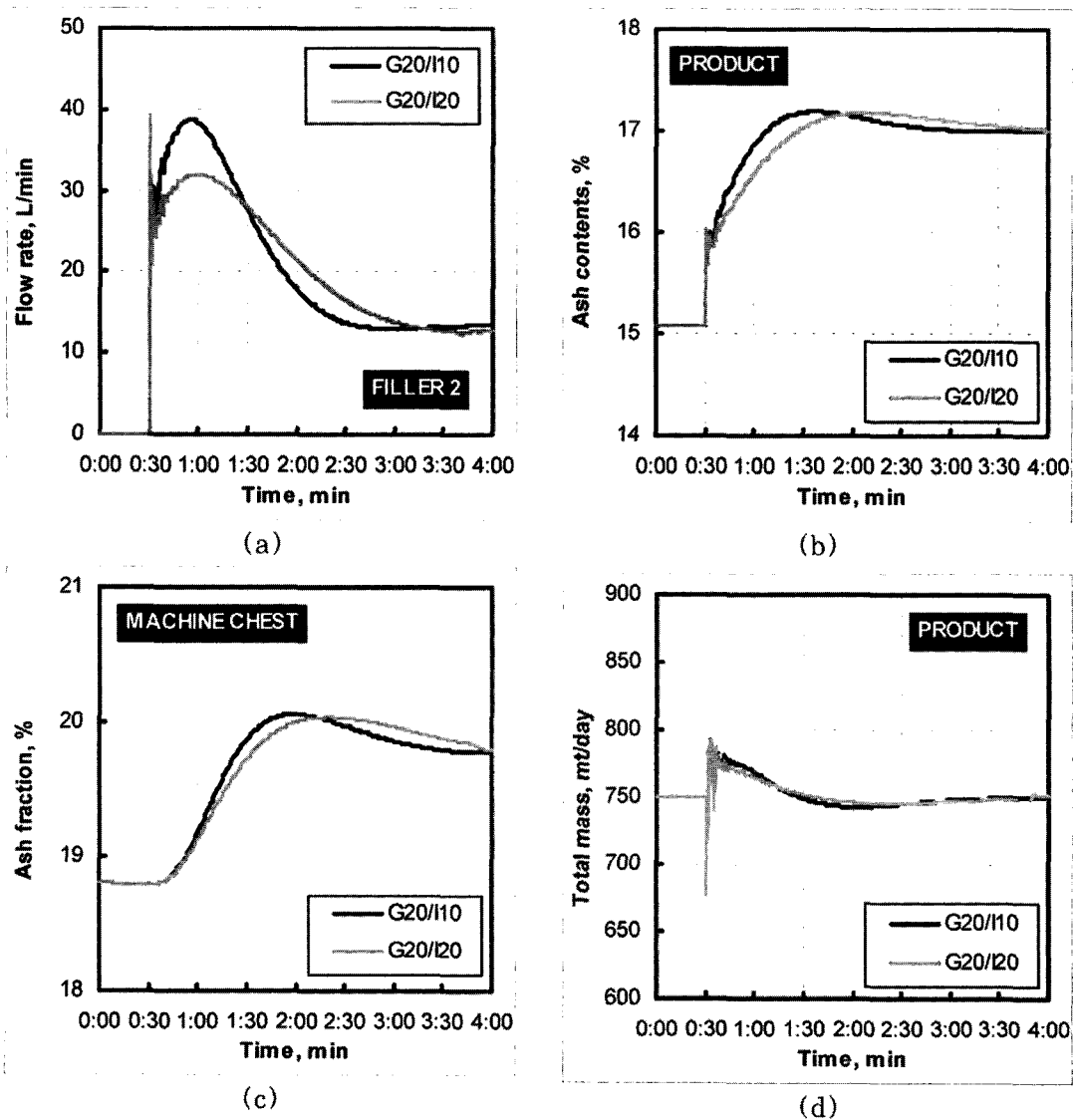


Fig. 6. Effect of integral time on ash control in long control loop.

나타났다. Fig. 5-(b)에서처럼 G20/I10는 3시간되는 시점에서 목표로 설정한 17%의 회분 함량에 도달한 반면, G04/I10은 4시간이 지나도 17%에 근접한 회분 함량을 나타내지 않았다. 특히, 비레이득 값의 차이는 제품 회분 함량 초기 변화에 두드러지게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, G20은 G04에 비해 초기 회분 함량의 변폭이 약 네 배정도 더 큰 것으로 나타났으며,

이러한 차이가 동일한 적분시간을 적용하더라도 목표 회분 함량에 도달되는 시간을 달리하였다. Fig. 5-(c)에 도시한 바와 같이 머신체스트에서 회분의 비율 역시 충전제의 투입에 따라 변화하였는데 G20/I10은 약 2시간되는 시점에서 최고값을, G04/I10은 약 3시간되는 시점에서 최고값을 나타내어 G20/I10이 보다 빠르게 충전제 투입 변화에 대하여 반응하였다. Fig. 5-

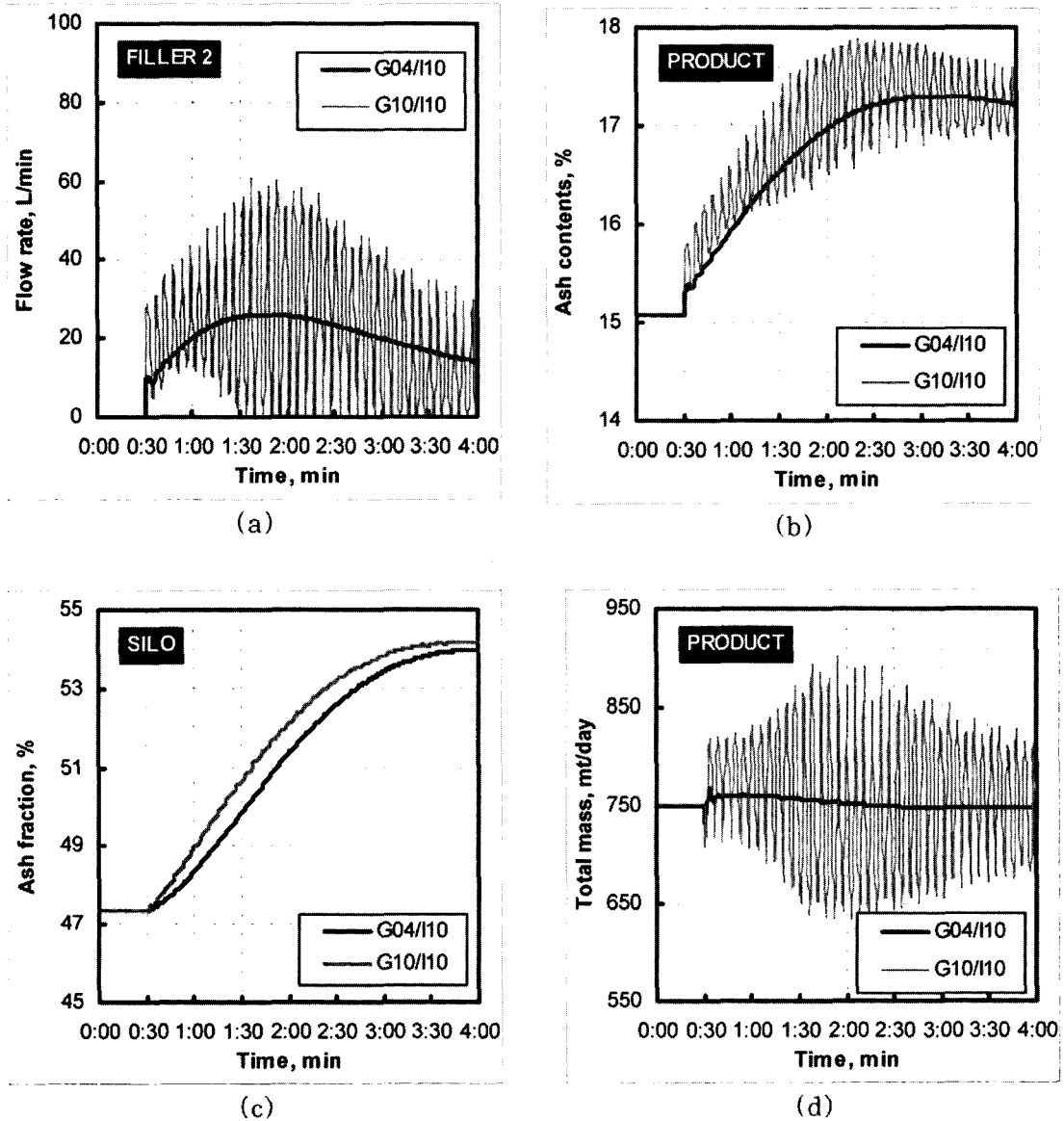


Fig. 7. Effect of controller gain on ash control in short control loop.

(d)는 제품의 생산량에 대한 것으로 충전제의 투입량이 급격하게 변화하는 G20/I10은 초기에 생산량 역시 민감하게 변화하였다. G04/I10, G20/I10 모두 2시간 30분되는 시점에서 안정적인 생산량을 나타내었다. 그러나 이 시간대에서 G04/I10은 안정적인 생산량을 나타낸다 할지라도 Fig. 5-(b)의 회분 함량 결과를 고려할 때 회분 함량 17%를 만족시키지 못하므로 불량품을 생산하고 있는 상황이 된다.

Long control loop에서 적분시간의 차이에 따른

변화를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6-(a)에서처럼 G20/I10은 G20/I20보다 초기에 많은 양의 충전제가 투입되었지만, 피크값 이후 감소하여 보다 빠르게 투입량이 안정되었다. 안정화되기 위해 걸리는 시간의 차이는 제품의 목표 회분 함량 도달 시간에도 영향을 미친다. Fig. 6-(b)의 G20/I10으로 컨트롤하는 경우 더 신속하게 목표 회분 함량 17%에 도달되어 안정적으로 제품을 생산하였다. 이 경우 비례이득이 동일하기 때문에 회분 함량의 초기 변폭은 차이가 없지만, 적

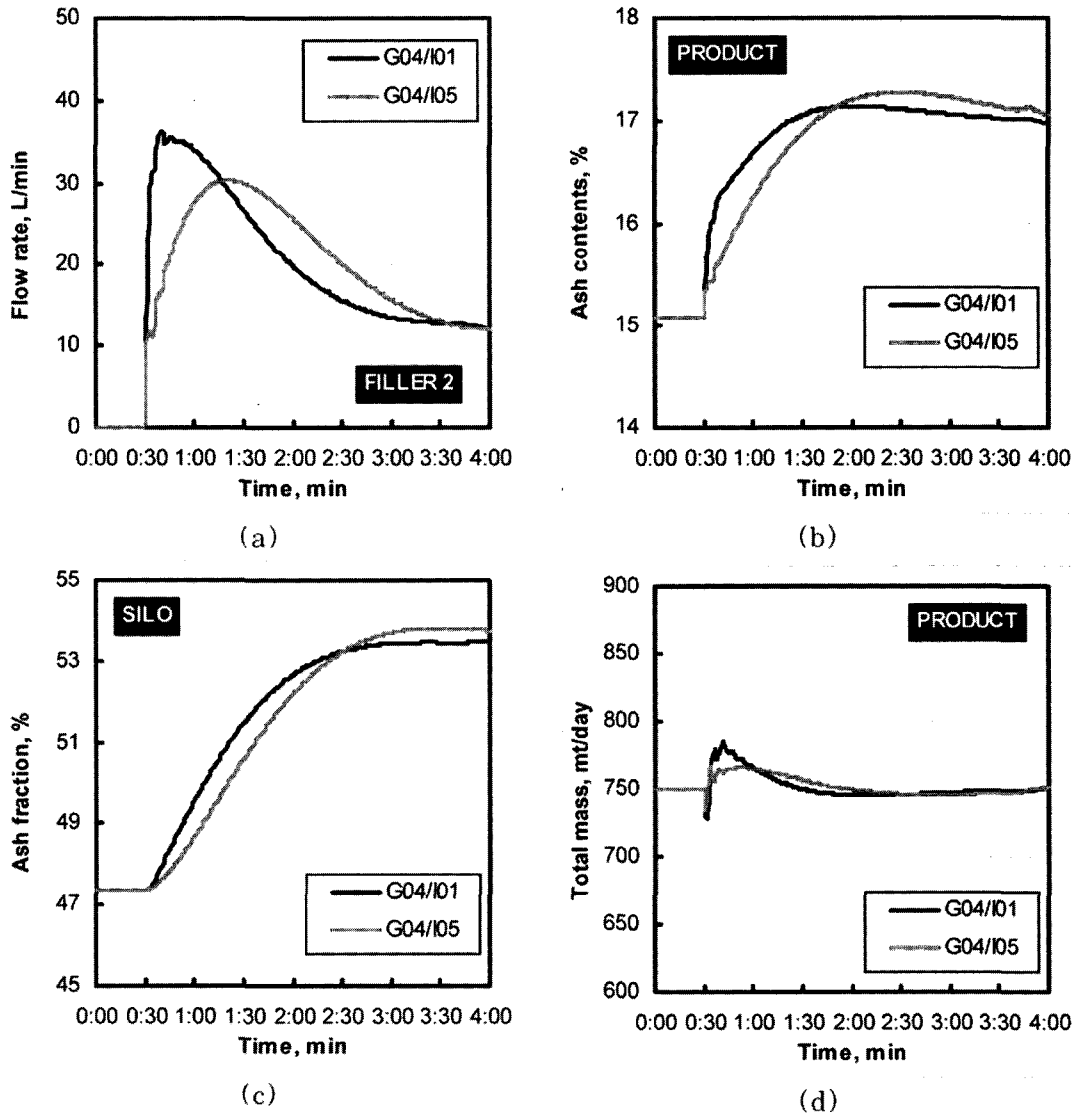


Fig. 8. Effect of integral time on ash control in short control loop.

분시간의 영향으로 안정화되는 데 걸리는 시간이 다소 차이 났다. Fig. 6-(c)의 머신체스트에서 나타나는 지료 내 회분 비율의 변화 역시 Fig. 6-(a)의 충전제 투입 양상과 관계되어 변화되고 있었으며 G20/I10이 G20/I20보다 빠르게 안정화되었다. 제품의 평량과 관계된 Fig. 6-(d)의 생산량 결과에서 알 수 있듯이, 충전제의 투입량 변화 이후 1시간되는 시점을 지나 G20/I10, G20/I20 두 경우 모두 안정화되는 모습을 보여주었다. 적분시간은 에러를 적분 제어하기 위한 상수로써, 이 값이 클수록 더 긴 시간에 대한 에러를 보상하게 된다.⁸⁾ 따라서, G20/I10이 G20/I20보다 짧은 시간에 오차를 보정할 수 있는 것으로 생각된다.

3.2.2 Short control loop

Short control loop의 경우 Fig. 3과 같이 헤드박스 유입 지료의 회분 비율을 모니터링하여 충전제의 투입량을 조절하고 이를 통해 최종적으로 생산되는 종이의 회분 함량을 조절하게 하였다.

Fig. 7에서와 같이 short control loop는 제어기의 비레이득 값에 상당히 민감하게 반응하였다. G10/I10의 경우 Fig. 7-(a)처럼 시간에 따라 충전제의 투입량이 큰 폭으로 변화하며 회분 함량을 조절하는 형태를 취하였으며, 이것은 제품의 회분 함량의 변화 양상(Fig. 7-(b))에도 빠르게 반영되는 것을 알 수 있었다. 사일로에서의 회분 비율은 Fig. 7-(c)처럼 시간에 따른 큰 폭의 변화는 보이지 않았지만 지속적인 상승을 보여주었고 비레이득이 큰 G10/I10이 보다 빠르게 상승하는 양상을 나타내었다. Fig. 7-(d)에서 G10/I10은 최대 200 mt/day의 큰 생산량 차이를 보이며 시간에 따라 변화하는 모습을 나타내었다. 이로부터 콘트롤 루프의 길이가 짧을 때 즉, 콘트롤 위치와 모니터링 위치간의 간격이 좁을 때 비레이득 값을 크게 가져가는 것은 신속한 제어보다는 오히려 큰 폭의 동요를 유발하여 공정 불안정과 품질 불량 제품 생산을 야기한다고 판단된다. 이러한 변동은 미분 제어를 통해 감소시킬 수 있으나, 적절한 비례 제어와 적분 제어가 맞추어지지 않을 경우에는 제어에 소요되는 시간과 비용이 더욱 커지게 된다.

비레이득을 4로 고정시키고 적분시간에 따른 영향을 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8-(a)에서처럼 1분의 짧은 적분시간을 부여한 G04/I01의 경우 초기의 급격한 충전제 투입량 증가를 나타내었고 더 빠르게 충전제의 투입량이 안정화되었다. Fig. 8-(b)의 종이 내 회분 함량에 있어서도 G04/I01이 더 신속하게 목표 회분

함량인 17%에 도달하였다. 그리고 사일로에서의 회분 비율 역시 Fig. 8-(a)에서 보인 충전제 투입 양상에 의존하여 G04/I01이 상대적으로 빠르게 증가하여 짧은 시간 내에 안정된 값을 나타내었다(Fig. 8-(c)). 제품의 생산량은 Fig. 8-(d)에 나타낸 바와 같이 G04/I01, G04/I05 모두 초기에 큰 변화를 나타낸 이후 2시간정도 되는 시점에서부터 안정적인 값을 나타내었다. 공정 조건에 따라 적절한 제어 값을 찾는 것은 변화에 대한 공정의 신속한 대처와 품질 안정성을 위해 매우 중요하다.

3.2.3 Long control loop와 short control loop 비교

Fig. 9에 나타낸 바와 같이, controller 비레이득 4, 적분시간 10분인 조건에서 long control loop와 short control loop는 유사한 종이 내 회분 함량의 변화를 보여주었다. 이것을 기준으로 각 control loop에서 보다 신속하게 회분 함량을 조절하기 위한 비레이득 및 적분시간의 설정에 대하여 살펴보았다. 3.2.1과 3.2.2항의 결과로부터, 생산되는 종이의 회분 함량을 모니터링하여 충전제의 투입량을 조절하는 long control loop의 경우 적분시간보다 비레이득 값의 변화에 빠르게 반응하므로 비레이득을 크게 하여 초기에 많은 양의 충전제가 투입되도록 하는 것이 적합하였다. 그리고 short control loop의 경우 비레이득 값의

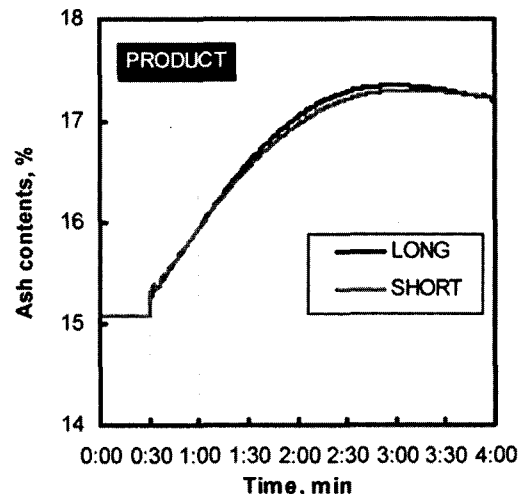


Fig. 9. Comparison between long control loop and short control loop. (gain: 4, integral time: 10 min)

변화에 크게 동요를 하기 때문에 적분시간을 통해 조절하는 것이 합리적이며 10분보다 짧은 시간으로 설정하는 것이 빠른 회분 함량 조절을 달성하는데 유리하였다. 그 결과 Fig. 10에서처럼 long control loop의 경우 비레이득 값을 20으로 상향 조정할 때 Fig. 9에 비해 신속한 회분 함량 조절이 이루어졌으며, short control loop의 경우 적분시간을 1분으로 하향 조정하여 신속하게 목표 회분 함량에 도달하였다.

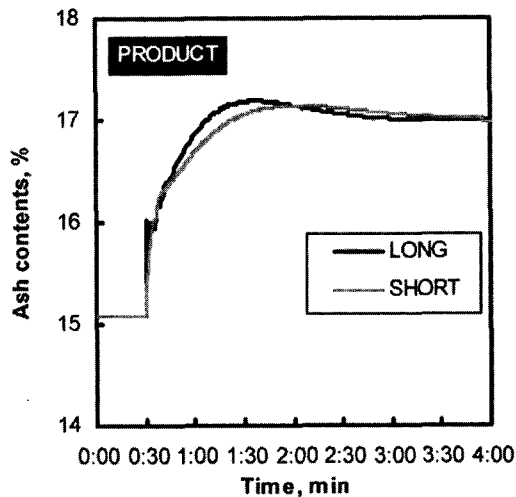


Fig. 10. Setting of controller gain and integral time for long control loop and short control loop. (LONG: gain 20/integral time 10min, SHORT: gain 4/integral time 1 min)

4. 결론

동적 시뮬레이션을 활용하여 지료 조성 및 초지 공정에서 유발될 수 있는 변동에 대해 각 단위 공정에서 나타나는 변화 양상을 파악할 수 있다. 그 하나의 예로서 본 연구에서는 백상지 생산 공장의 지료조성부와 초지부, 백수 내부 순환계, 파지 시스템으로 구성된 공정을 모델로 하여 생산되는 종이 내 회분 함량 증가와 관련된 내용을 연구대상으로 하였다.

팬펌프에 충전제를 투입하여 회분 함량을 조절하는 경우 믹싱체스트에 충전제를 투입하는 경우보다 빠른 반응양상을 나타내었다. 하지만 제품의 생산 안정성 측면에서는 후자가 우수한 결과를 보여주었다.

생산되는 종이 내 회분 함량의 조절을 위한 충전제

의 투입을 PI-control에 의하여 제어하는 경우 제어 루프의 길이와 관계하여 제어기 비레이득과 적분시간의 설정에 대하여 살펴보았다. 회분 함량의 조절을 위해 생산되는 종이의 회분 함량으로부터 모니터링하는 방식은 제어기의 비레이득 값을 변화시키는 것이 보다 신속한 제어 형태였으며, 헤드박스 유입지료의 회분 비율을 모니터링하여 충전제의 투입을 조절하는 방식은 적분시간을 변화시켜 제어하는 방법이 보다 빠른 접근 법이었다. 하지만 후자의 경우 비레이득 및 적분시간의 변화에 민감하게 반응하기 때문에 제어 루프가 짧을수록 더욱 섬세한 제어기의 튜닝이 이루어져야 한다.

감사의 글

본 연구의 수행에 있어 시뮬레이터인 WinGEMS의 사용에 도움을 주신 미래엔지니어링(주)에 감사를 드립니다. 이 연구는 서울대학교 신입교수 연구정착금 지원사업과 BK 21 핵심사업으로 지원되는 연구비에 의하여 수행되었습니다.

인용문헌

1. Orcotoma, J. A., Stiee, D., Paris, J., and Perrier, M., Dynamics of fines distribution in a white-water network, *Pulp & Paper Canada* 98(9):77 (1997).
2. Houle, J. F., Brousseau, Y., Dorica, J., and Paris, J., Reduction of fresh water consumption for process and non-process uses in an integrated newsprint mill, *Pulp & Paper Canada* 100(3):50 (1999).
3. Orcotoma, J. A., Paris, J., Perrier, M., and Roche, A. A., Dynamics of white water networks during web breaks, *Tappi J.* 80(12):101 (1997).
4. Kirkman, A. G., Introduction to simulation in the paper industry, *Proceedings of 2000 TAPPI Engineering Conference*, TAPPI Press.
5. Panchapakesan, B., Introduction to process simulation in pulp & paper industry capital effectiveness and design, *Proceedings of 2000 TAPPI Engineering Conference*, TAPPI Press.
6. Laperriere, L., and Wasik, L., Implementing optimization with process simulation, *Tappi J.* 1(4):7 (2002).
7. 강철구, 권옥현, 박영필, 이교일(공역), 현대제

- 어공학, 사이텍미디어, 1999, pp.210~211.
8. Jones, G. L., and Sell, N. J., Summary of conventional process control concepts, in "Process control fundamentals for the pulp & paper industry", Ed. by Sell, N. J., TAPPI Press, Atlanta, 1995, pp.58~66.