

습식 펄프몰드 생산공정의 공정개선 및 건조에너지 절감 방안

성용주[†] · 류정용 · 김형진^{*1} · 김태근^{*2} · 송봉근
(2004년 6월 7일 접수: 2004년 7월 30일 채택)

Optimization of Wet Pulp Mold Process and Reduction of Drying Energy

Yong Joo Sung,[†] Jeong-Yong Ryu, Hyung Jin Kim,^{*1} Tae Keun Kim,^{*2} and Bong Keun Song
(Received on June 7, 2004: Accepted on July 30, 2004)

ABSTRACT

Pulp mold is one of the famous environmental friendly materials, which made from recycled materials such as old newsprints through the environmental friendly processes. Furthermore, the used pulp mold can be easily recycled and the pulp mold itself is biodegradable. However, the higher cost and some deficiency in physical properties of pulp mold have been considered as issues to be overcome for a substitute for polymeric packaging materials such as EPS (Expandable Polystyrene).

The way for the optimization of a pulp mold mill was proposed in this report. The possible reduction of drying energy was calculated by using a computer simulation method, which could provide the detailed information about mass balance of overall process. The simulated results showed a great possible curtailment of production cost by improving the forming systems, for example, increasing the temperature and the dryness of a wet pulp mold.

Keywords: *environmental friendly materials, pulp mold, computer simulation, drying efficiency, process optimization*

• 한국화학연구원 펄프제지연구센터 (Pulp and Paper Research Center (PPRC), Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT), P.O. Box 107, Yusong, Daejeon 305-606, Korea)

*1 국민대학교 산림과학대학 임산공학과 (Dept. of Forest Products, Kookmin University, 861-1, Chongnung-dong, Songbuk-gu, Seoul, 136-702, Korea)

*2 풍년기업사 (Pung-Nyun Ind.Co., 701, Sungkok-Dong, Ansan-Si, Kyungki-do, Korea)

† 주저자 (Corresponding Author) : E-Mail: yosung@kRICT.re.kr

1. 서론

사회전반에 걸쳐 환경에 대한 관심이 확산되어 감에 따라 기존의 제품을 친환경제품으로 대체하고자 하는 추세가 최근 들어 국내외적으로 다양한 법률과 규제 등의 신설과 적용을 통해 구체적으로 산업의 흐름을 주도하고 있는 실정이다. 특히 국내에서 2003년부터 생산자 책임 재활용 제도가 시행되고 국제적으로는 상업포장 및 포장폐기물에 대한 규제 제도 등이 확립됨에 따라 상품자체에 대한 환경성 평가 뿐만 아니라 상품의 포장에 사용된 포장재에 대한 관심이 증폭되고 있다.^{1,2)} 이러한 주변여건에 따라 현재 범용적으로 사용되는 합성수지계통 완충포장재의 대안으로 크게 주목받고 있는 펄프몰드는 그 주원료의 대부분으로 신문고지 또는 골판지 고지 등의 폐지를 사용하고 생산 공정에서도 용수 및 환경오염 등을 거의 발생시키지 않을 뿐만 아니라 사용된 포장폐기물의 재활용 또한 대단히 용이한 대표적인 친환경 소재이다.

고지원료를 다양한 형태의 금형으로 진공 흡입하여 성형, 건조시킨 펄프몰드는 겹쳐 쌓을 수 있어 물류비용이 저렴하고, 다양한 기능성 및 외장이 가능하며 포장공정을 단순화 할 수 있는 등 여러 가지

장점을 가지고 있기 때문에 현재 각종 산업용 완충재, 식품용기, 농수산물 포장재 등으로 널리 사용되고 있는 실정이다.³⁾ 그러나 범용으로 사용되는 스티로폼 계열의 완충포장재에 비하여 물성 즉, 표면 특성, 균일성, 완충성 등이 다소 떨어지고 생산비가 고가인 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 생산효율이 좋아 대량생산이 가능한 습식펄프몰드의 생산 공정에서의 공정개선방안을 모색하고 특히 생산원가의 상당한 부분을 차지하는 건조에너지 절감을 위한 방안을 전산모사를 통해 구현하여 보았다. 특히 습식펄프몰드 제조방식에서 탈수성 향상을 위한 다양한 방법들을 평가한 결과를⁴⁾ 바탕으로 실질적인 공정라인 개선방안과 건조공정에서의 원가절감방안을 평가하였다.

2. 공정개선방법

본 연구는 실제 습식 펄프몰드 제조방식으로 몰드제품을 생산하고 있는 국내 A사의 공정을 대상으로 하여 진행되었다. Fig. 1은 본 연구가 진행되었던 A사의 공정라인 모식도이다.

A 사의 경우 두 가지 종류의 펄프몰드 즉, 신문고지를 원료로 하는 연질펄프몰드와 골판지 고지를

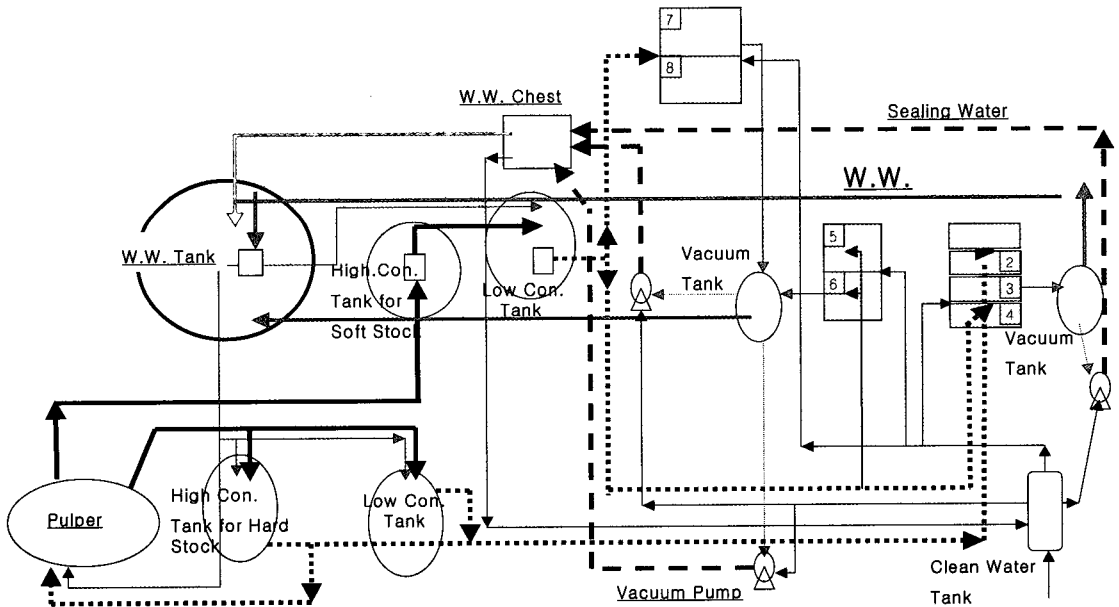


Fig. 1. Schematic diagram of a wet pulp mold process.

원료로 하는 경질펄프몰드를 생산하고 있다. 각각의 원료는 저농도 펄퍼로 해리되어 각각의 고농도 탱크로 이송되고 저장된다. 이 고농도의 원료는 저농도 탱크로 이송되어 백수로 희석되고 성형기로 도입된 후, 성형기에서 몰드로 만들어지는 일련의 공정을 거치게 된다. 각각의 성형기에서 탈수된 백수는 진공탱크로 채집되어 집수조로 모아졌다가 일부는 청수탱크로 보내져 실링수 또는 금형 세척수로 사용되고 나머지는 백수탱크로 보내져 펄퍼유입수와 희석수로 사용되고 있었다. 본 공정의 가장 큰 특징은 건조기에서 건조되어 외부로 유출되는 수증기 외에는 공정 밖으로 버려지는 배출수가 없다는 것이다. 즉, 거의 완벽하게 폐쇄화된 공정으로 운용되고 있었다.

본 공정에 대한 명확한 이해를 위해 각 공정별로 원료의 특성 및 그 변화를 측정하였다. 각각의 원료 측정 지점은 펄퍼, 펄퍼유입수, 고농도 탱크, 저농도 탱크, 백수탱크, 각 성형기(1~8호기), 실링수, 진공수, 금형세척수, 그리고 청수이고 각 성형기에서 성형된 몰드제품을 채취하여 건조도와 건조기 통과 후의 건조도를 각각 측정하였다. 각 채취된 원료의 기본적인 물성은 Table 1에 나타난 바와 같다.

전체 공정수의 수질상태는 같은 신문고지 등을 원료로 하는 제지공장들의 경우에 비하여 상대적으로 무척 깨끗하였는데 실제로 탈묵 등의 공정을 거치지 않는 이유로 소량의 소포제를 제외하고 약품의 첨가가 없기 때문에 COD와 칼슘경도가 매우 낮은 특징이 있었다.

Table 1에서 나타난 바와 같이 실링수의 경우 기타 용수보다 상대적으로 높은 온도를 보였는데 약 10 °C 이상 온도 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 실링수 및 진공수 등의 공정수는 모두 집수조로 모여져서 펄퍼로 유입되어 펄핑 시에 사용되는데 실제 펄핑에서는 펄퍼 희석수의 온도가 높을수록 원료로부터 오염물질 등이 희석수로 용출되는 문제점이 있다.⁵⁾ 특히 A사의 경우 100% 고지를 원료로 사용하는데 이러한 경우 온도가 전체 공정수의 오염을 심화시킬 수 있다. 또한 water ring 타입의 진공펌프 실링수는 낮은 온도의 공업용수가 적합한데 본 공정에서는 청수의 사용량이 충분치 못하여 진공수 등이 모여든 집수조의 상대적으로 높은 온도의 공정수를 사용함에 따라 실링수의 온도 상승 등으로 진공펌프의 효율이 떨어지는 즉, 진공압이 감소하는 악영향을 예상할 수 있었다. 실링

Table 1. Properties of process water and stock

Sampling point	Temp. (°C)	Con. (%)	COD	Hardness	Flake (%)	Fiber (%)	Fines (%)	PCD (ml)	Ash (%)	Dryness (%)
Clear Water	30.8		16	36				0.082		
1st Sealing Water	53	0.01	524	280				1.833		
2nd Sealing Water	50.4	0.01	528	180				1.837		
1st Vacuum Water	39.6	0.01	595	280				2.050		
2nd Vacuum Water	39.4	0.01	601	290				2.069		
Shower Water	40.2	0.01	514	220				1.804		
Pulper W.W.	38.9	0.01	624	280				2.035		
Pulper	39.2	2.26	644	420				2.094		
Low Con. Tank	39.4	0.91	610	300				2.073		
High Con. Tank	39.4	2.26	603	230				2.213		
2nd Hard Tank	38.8	1.06	692	420				2.515		
machine 1 (Hard)	37.4	1.33	690	320	0.82	70.14	29.04	2.295	12.8	25.26
machine 2 (Hard)	37.1	1.21	695	470	0.96	73.53	25.51	2.305	12.7	24.64
machine 3	38.8	0.77	602	250	0.39	74.3	25.31	2.038		25.53
machine 5	39.9	0.77	604	290	0.4	77.12	22.48	2.030	8.3	23.42
machine 6	39.3	0.75	618	310	0.49	74.9	24.61	2.060		21.25
machine 7	39.3	0.78	620	270	0.49	80.67	18.84	2.123	8.3	28.27
machine 8	38.8	0.8	602	290	0.37	73.36	26.27	2.045		28.47

Table 2. Amounts of raw material use per day and production per day based on one month operation

Raw Materials	Amount	Production	Amount
ONP	16.48 t/day(MC 93 %)	Machine #1 & 2	0.614 t/day(MC 98 %)
OCC	0.648 t/day(MC 93 %)	Machine #3 & 4	3.312 t/day(MC 96 %)
Clear Water	60.90t/day(410 won/t)	Machine #5 & 6	6.25 t/day(MC 96 %)
LNG gas	5413.97 m ³ /day (381 won/t)	Machine #7 & 8	6.36 t/day(MC 96 %)

수의 농도가 성형기에서 탈수되어 나온 진공수의 농도와 현저한 차이가 없는 점으로 보아 진공펌프에서도 실링수와 진공수사이의 구별이 분명하지 않고 이로 인해 진공펌프의 운전에도 다소 문제가 유발되는 것으로 판단되었다. 또한 각 성형기별로 탈수 정도에 차이가 있어서 성형된 후의 제품의 건조도가 일정하지 않은 것으로 확인되었고 이러한 건조도의 변이가 실제 제품의 건조 시에 효율적인 운전을 어렵게 하는 걸림돌이 된다고 생각되었다. 따라서 이러한 높은 온도의 실링수의 폐열을 효율적으로 사용하는 방법으로 실링수와 진공수의 분할관리가 필요한 것으로 판단되었다.

Fig. 2는 습식펄프몰드를 생산하는 A사의 공정 개선안을 모식적으로 보여주고 있다. 현재 명확한 구별이 없는 치료조성라인과 성형라인 사이에 thickner를 도입하여 구별하는 방안을 제시해 보았다. 이러한 개선방안을 도입한다면 치료조성부에서 공정수로 용출되었던 오염물질의 성형부로의 도입

이 제한될 뿐만 아니라 온도가 상대적으로 높은 실링수가 펄퍼로 유입되지 않고 성형부에서만 순환하게 되기 때문에 성형부에서의 공정수의 온도가 상승하는 효과가 있을 것으로 예상된다. 특히 A사의 경우 펄퍼를 제외하고는 공정수의 대부분이 공기와 접촉이 없는 상태로 유지되고 있기 때문에 공정수의 온도 보전이 용이할 것으로 판단되었다. 이러한 성형기에서의 온도 상승은 지난 연구에서 보고된 바와 같이⁴⁾ 성형기의 탈수능력을 향상시킬 뿐만 아니라 성형 후 건조기로 유입되는 습펄프몰드의 온도를 상승시켜 건조에너지의 절감 효과를 유발할 것으로 생각된다. 이러한 예상 결과는 다음 전산모사를 통해 검증하였다.

3. 공정 최적화를 위한 공정전산모사

본 연구가 진행된 A사의 경우 실제 생산량, 원료,

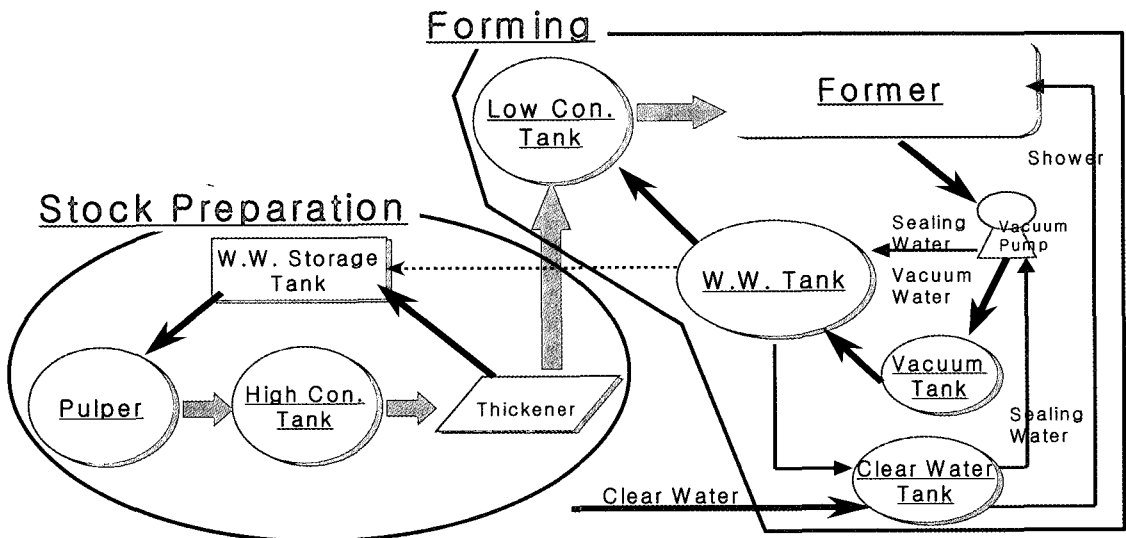


Fig. 2. Modified process water loop by the separation of stock preparation zone and forming zone.

용수 및 에너지 사용량 등에 대한 관리가 잘 이루어지는 반면 실제 공정상에서 이러한 물질들의 이송 및 제조에 관한 공정별 물질수지 관리가 이루어지지 않고 있었다. 본 연구팀은 실제 A사의 공정에서 물질수지가 확립이 된다면 공정의 개선과 공정 트리블에 대한 효과적인 대처가 가능할 뿐만 아니라 원부자재의 효율적 이용을 가져올 수 있을 것으로 판단하고 필수적인 공정 데이터를 실측한 후 물질수지를 작성하고 전체 공정 라인에 대한 전산모사를 실시하였다.

본 전산모사에는 Aspen Water사의 Water Pinch 프로그램을 적용하였다. Table 2 에서는 공정전산모사에 적용된 A사의 일일 원부자재 사용량과 생산량을 볼 수 있는데 이것은 실제 한 달간 측정된 량을 근거로 계산한 평균치를 나타낸 것이다. 이 자료와 공정 상에서 실측된 각 공정별 자료의

농도 즉, 펄퍼에서는 3.35%, 고농도 탱크에서 2.18%, 저농도 탱크에서 0.86%, 성형기에서 0.83%를 적용하여 전체공정의 물질수지 및 공정별 물질수지의 변화를 평가하였다.

실제 A사에서 하루 사용되는 공업용수의 양은 60.9톤이었지만 공정모사결과 공정의 물질수지를 만족시키는데 필요한 공업용수의 양은 하루 41.76톤이었다. A사 공정의 경우에는 실제 공정수가 폐쇄화 되어서 공정내부로 대부분 순환되며 일부의 공정수는 성형품과 함께 건조기로 들어가 기화되어 배출된다. 그 외에는 따로 배출되는 공정수가 없는 관계로 건조기에서 기화되는 물량만큼 공정수가 보충되는 상황이었다. 따라서 실제 공급되는 공업용수와 물질수지를 바탕으로 예측된 공업용수사이의 차이 만큼 즉, 하루 19.14톤의 공업용수가 공정 밖으로 유실되는 것으로 추정할 수 있다. 이것은 배수

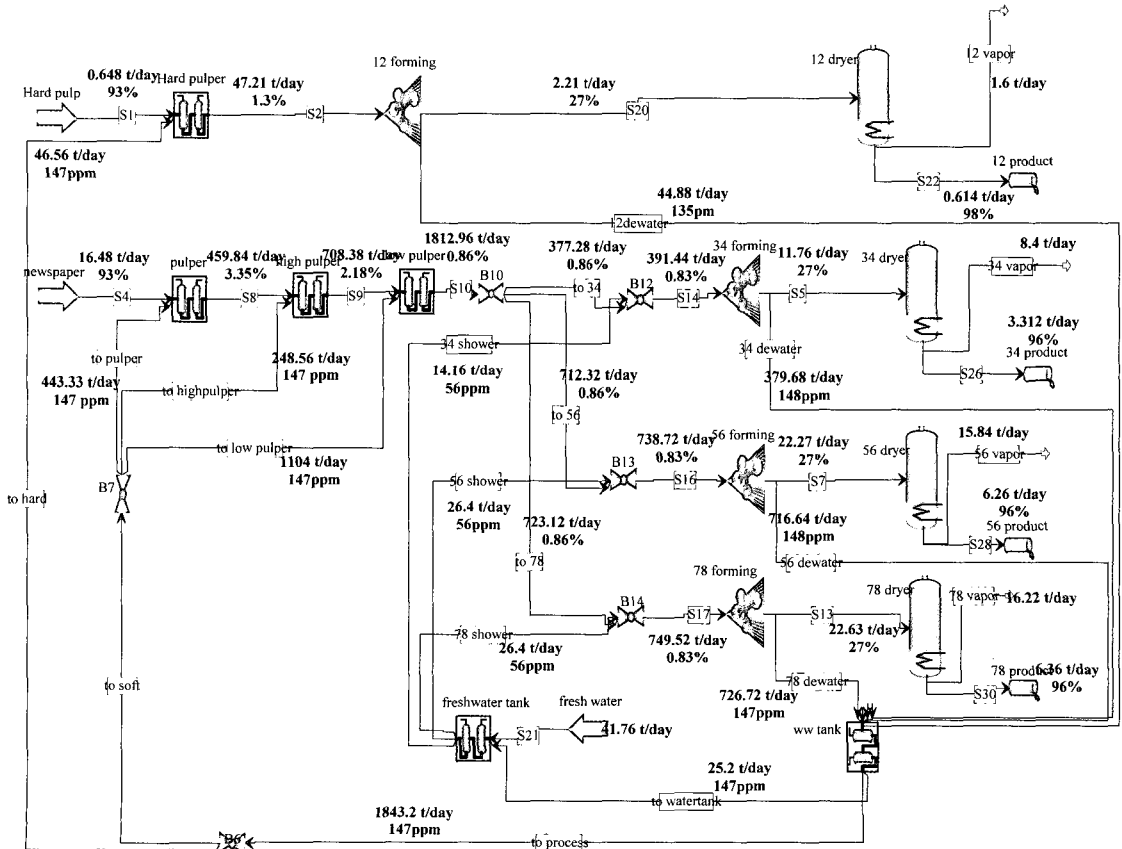


Fig. 3. Material balance of a pulp mold mill by using computer simulation method.

Table 3. Simulated amounts of required gas for drying system

Dryness of Wet Pulp Mold (%)	Amount of Clear Water Use (t/day)	Production of Steam (t/day)	Amount of Required LNG Gas (m ³ /day)	Actual Amount of LNG Gas Use (Efficiency:52.36%)
25%	46.61	36.39	3115	5949.8
27%	41.76	31.51	2835	5414.2
30%	35.76	26.57	2454	4686.4

관 등의 노화 및 부식 등으로 지층으로 유실됨에 따라 비롯된 것으로 추정되어진다. 정확한 원인을 파악하기 위해서는 각 공정 단계별로 정확한 유량의 측정이 필요할 것으로 생각된다.

A사 건조시스템의 물질수지를 평가한 결과 실제 건조기로 유입되는 성형품의 건조도(dryness)와 건조 후 완제품의 건조도(dryness), 그리고 각각 건조시스템 별로 유입되는 수분함량을 바탕으로 전체 건조기에서 증발되는 물의 양 및 이를 위해 소요되는 LNG 양을 추정할 수 있었다. 다음의 Table 3 은 그 계산 결과를 보여준다.

성형품의 건조도는 건조시스템에서 수분을 증발시키기 위해 요구되는 건조에너지 소요량에 좌우하게 되는데 예를 들어 하루 60톤을 생산하는 경우 성형품의 건조도가 25%일 때는 건조기에서 증발시켜야 하는 수분의 양이 약 180톤 정도가 되는 반면 성형품의 건조도가 30%로 증가하는 경우에는 증발시켜야 하는 물의 양이 약 140톤 정도로 실제 40톤 정도의 물을 증발시키는 에너지를 절감할 수 있는 것이다.

상기한 물질수지 작성 및 공정모사를 위한 기본 데이터가 수집된 2004년 5월 동안 성형기에서의 평균 성형품 온도는 35℃이었고 건조도는 약 27% 이었다. 이 경우에 실제 계산에 근거한 LNG 가스 소요량은 하루 2834.7 m³ 이었다. 그러나 실제 5월 한 달 동안 사용한 가스량을 바탕으로 계산한 하루 평균 가스 사용량은 5413.97 m³ 로서 전체 건조시스템의 효율은 약 52.36%로 추정할 수 있다. 즉 건조기에 공급되는 가스에서 실제 성형품의 건조에 사용되는 실질 가스량이 약 52.36% 정도인 것으로 추정되는 것이다. 이러한 건조기의 효율저하는 앞에서 전술한 바와 같이 건조기 벽면이나 각 건조 구간별로 있는 문틈으로의 열 유출 또 특히 건조기

외부로 유출되는 막대한 양의 열풍으로 인한 것으로 추정할 수 있다. 이러한 건조효율을 바탕으로 실제 LNG 사용량을 추정할 수 있었다.

Table 3 에서 정리된 바와 같이 성형품의 건조도가 25%에서 30%로 증가됨에 따라 공업용수의 하루 요구량은 10.85톤가량 감소하고 가스 요구량도 1263.4 m³ 절감되는 것을 확인할 수 있었다.

성형기의 온도 증가에 따른 에너지 절감효과도 평가하여 보았는데 그 결과는 Table 4에 나타내었다.

성형품 온도가 상승하게 되면 건조부로 도입되는 수분의 온도 역시 상승하게 되므로 실제 건조시에 소요되는 건조에너지는 감소하게 된다. 전사모사결과로는 성형품의 온도 15℃상승에 의해 하루 176.8 m³의 가스량을 절감시킬 수 있다는 계산이 성립되나 사실상 건조기에서의 성형품의 건조는 단순한 수분의 증발이 아니라 외부로부터 건조되면서 내부로의 열전달효율이 떨어지기 때문에 이러한 성형품 자체의 3차원적 함수율의 변화에 의한 건조효율을 고려한다면 그 영향은 더욱 클 것으로 쉽게 예상할 수 있다.

공정전사모사 결과를 바탕으로 현 공정에서의 건조에너지 최적화 방안을 모색해볼 수 있는데 실제 성형품 건조도 (25%, 2003년 8월 측정), 온도 35℃에서 성형 시 탈수성을 개선하여 건조도를 30% 까지 또한 성형기의 자료의 온도를 향상시켜서 성형품 온도를 50℃까지 향상시킨다면 하루 가스사용량은 약 1361 m³(22.9%), 공업용수 사용량은 하루 10.85톤(23.3%)를 절감시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이것을 현 가스비용, 1m³당 381원과 공업용수비용, 1톤당 410원으로 환산한다면 하루 약 52만원의 원가 절감효과를 거두는 셈이다. 즉, 일년에 350일정도 공장을 가동한다면 연간 약 1억

Table 4. Effects of temperature of wet pulp mold on the amounts of required drying gas

Wet Pulp Mold Dryness : 27%

Temp. of Wet Pulp Mold (°C)	Amount of Required LNG Gas (m ³ /day)	Actual Amount of LNG Gas Use (Efficiency:52.36%)
35	2834.7	5413.8
40	2803.8	5354.9
45	2773	5295.9
50	2742.1	5237

8천만원가량의 원가절감효과를 예상할 수 있다.

건조에너지의 절감을 위해서 특히 중요한 영향 인자는 성형기에서 탈수된 후의 성형품의 건조도와 온도인데, 다른 보고서에서 설명된 다양한 성형기 탈수를 향상시키기 위한 방법들, 즉 최적화된 펄퍼 사용, 성형기에서의 온도상승, 성형금망 및 성형몰드의 오염방지, 탈수촉진제의 첨가 등을 통하여 탈수를 향상 시킬 수 있을 것으로 생각된다.⁴⁾ 특히 공정수 분할 관리 및 건조시스템의 열교환기를 통한 성형 시 지료의 온도상승 효과는 탈수촉진을 통한 성형품 건조도 향상 및 성형품의 온도 상승이라는 두 가지 효과를 동시에 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 친환경성 완충포장재인 펄프몰드의 대량 생산이 가능한 습식몰드 생산방식에서의 공정최적화 및 건조기 원가절감 방안을 모색하여 보았다. 펄프몰드 생산업체 A사의 실제공정을 바탕으로 각 공정단위별 최적 운전 조건을 모색하였고 원가를 절감하며 품질을 최적화할 수 있는 방안을 다양한 기법을 도입하여 제시하였다. 특히 공정 전산모사를 통한 전체 공정의 물질수지 맵을 작성하여 공정 최적화를 통한 원가절감 가능성을 확인하였다.

성형기에서의 지료의 온도증가로 성형품의 온도증가가 예상되는데 이러한 성형품의 온도증가는 건조에너지를 절감시킬 수 있음을 전산모사를 통해 확인하였다. 특히, 실제 현장에서는 열풍건조기에서 발생하는 폐열의 재이용과 높은 온도로 배출되

는 진공펌프의 실링수 등을 분할관리 등을 통하여 에너지 절감효과를 극대화 할 수 있을 것으로 생각 된다.

전체 공정의 물질수지 작성을 통한 공정의 표준화를 이루기 위하여 공정 단계별 실측과 함께 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 적용하여 공정의 전산모사를 실시하였다. 그 결과 각 공정 단계별로 실측이 불가능하였던 지료 및 백수의 이송정도를 예측할 수 있었고, 또한 성형기에서의 공정 최적화를 통해 달성될 수 있는 건조에너지의 감소로 A사의 경우 연간 1억 8천만원 정도의 원가 절감이 가능한 것을 예측할 수 있었다.

이러한 A사에 적용된 전산모사 기법은 펄프몰드를 제조하는 유사한 공정방식에도 적용될 수 있을 것으로 생각되고 이와 같은 공정개선 및 에너지 효율증대 등을 통한 생산원가의 절감 등은 펄프몰드 제품의 가격 경쟁력을 향상시켜 보다 다양한 펄프몰드의 수요를 창출할 수 있을 것으로 예상된다.

사 사

본 연구는 산업자원부 부품·소재통합연구단의 부품·소재 종합기술지원사업의 지원으로 수행되었습니다. 본 연구에 적극적으로 협조해주신 풍년기업사 관계자 여러분께 감사드립니다.

인용문헌

1. 이대길, 포장산업의 실태조사와 발전방향 최종 보고서, 산업자원부 (2000).
2. 방중식, 포장재의 생산자책임재활용제도 시행, 월간포장, No.224 (11):5 (2002).

3. Ahn, B-K, 펄프몰드 트레이의 포장재료적 특성에 관한 연구, J. Korea TAPPI, 26(4):33-40 (1994).
4. Sung, Y-J, Ryu, J-Y, Kim, H-J, Kim, T-K, and Song, B-K, Improvement of drainage at wet pulp mold process, J. Korea TAPPI, 36(3):52-59 (2004).
5. Ryu, J-Y, Sung, Y-J, and Song, B-K, Application of mild mechanical treatment of fractionated OCC pulp for the improvement of strength properties, KRICT-KTAPPI RTM (2004).