

# 저온접착 건조 골판지\*

오세균·신중호/한국화학연구소 공업화학연구부장·선임연구원

목차	
1. 서론	3-1. Glue Machine 3-2. Jet cooker
2. 접착제의 조성변화 2-1. 암모늄 퍼설페이트 2-2. 보락스 2-3. 클레이 2-4. 실리카 졸	4. 결과 및 고찰 4-1. 유동성 4-2. 접착력 4-3. Warp
3. 접착제의 적용시스템	5. 결론

## 1. 서론

현재 시행되고 있는 대부분의 골판지 제조공정에 사용되는 접착방법은 1936년에 미국 Stein Hall사의 J. V. Bauer가 개발한 스타인 홀식의 제호법이다. 이 방법은 전분에 알칼리 용액을 첨가하여 호화된 호액과 생전분의 슬러리를 혼합하여 중심지에 도포한 뒤 여기에 라이너지를 붙이고 가열하여 접착시키는 방법으로서 2개의 탱크가 사용되는데, 먼저 전분의 일부에 가성소다 용액을 첨가하여 약 70℃ 근처로 가열하면 호화개시온도인 이 부근에서 완전히 호화되어 균일한 용액이 되므로 여기에 상당량의 생전분이 혼입되어도 침전되지 않고 유동이 가능한 균일한 상태가 유지된다. 이러한 호액중의 생전분은 골판지가 열판을 통과할 때 호화가 일어나 접착을 형성하는데 이때의 온도는 약 170℃ 정도가 되어야 한다.

위에 언급한 호액은 전체 용액에 대하여 전분의 무게비가 약 20% 정도이므로 접착제가 완전히 건조되려

면 나머지 80% 정도의 수분을 건조시켜야만 하는데 열판을 통과할 때 호화와 동시에 수분의 증발이 이루어지도록 되어 있다. 따라서 열판의 온도를 170℃ 정도로 유지하려면 많은 에너지가 요구될 뿐만 아니라 생산비용의 상승이 필연적일 수밖에 없다.

한편 가열부에서는 골판지의 한쪽면만을 가열하게 되므로 골판지가 건조되면서 골판지 단면상에 수분차가 발생하여 Warp현상이 일어나게 되는데 Warp란 원단이 구부러져 휘어지는 현상을 말한다. 제조된 골판지 원단이 평평하지 않으면 골판지의 성형공정으로서의 자동공급이 불가능하기 때문에 수작업으로 처리될 수밖에 없는 작업상 제일의 난제가 되고 있다. Warp의 원인으로는 접착제의 접착성격, 열, 수분, 지필의 인장력, 작업속도, 평량, 골의 모양 등 여러 가지가 있는데 이중 주된 원인은 라이너지의 수분차와 지필의 장력관계로 볼 수 있다. 이와 같은 Warp발생을 감소시키기 위한 방법의 하나로 수분차를 줄여주는 방안을 고려해 보면

\* 한국화학연구소와 골판지공업협동조합 외 10개사가 공동으로 수행한 공업기반기술연구과제 중 일부를 발췌한 것임.

다음과 같다.

호액중 전분농도를 현재보다 증가시켜 줄 경우 최종 가열단계에서 제거될 수분의 양이 감소되므로 수분차에 의한 Warp현상을 감소시킬 수 있다. 또한 현재와 같은 방식으로 고온의 가열부를 설치하지 않아도 되므로 에너지 절감 및 열에 의한 Warp현상도 감소시킬 수 있다.

현행과 같이 2개의 탱크를 사용하는 번거로움과 에너지 절약, Warp의 방지, 생산효율 향상 등의 측면에서 1930년대 이래로 사용되어 온 Stein-Hall방식에서 탈피한 새로운 골판지 제조방법이 절실히 요구되고 있는 실정이며 구미, 일본 등지에서 이를 위한 활발한 연구가 진행되고 있으나 아직 상업화되지 못하고 있는 실정이다.

본고에서는 새로운 접착제의 개발과 이에 적합한 제호방법 및 접착방법의 일례를 소개하고자 한다.

고온의 열판을 사용하지 않는 새로운 방법의 연구는 전분을 호화시킨 것과 미호화시킨 것을 혼합하는 기존의 방식을 벗어나 전체 전분을 동시에 호화시켜 라이너지와 중심지가 접착되도록 하는 방법을 생각할 수 있다. 부분적으로 호화된 전분에 비해 완전히 호화된 호제의 접착력은 월등히 우수하다. 그러나 전분을 호화시키는 데는 수분, 열, 그리고 압력 등이 요구되므로 이를 대기압의 공기중에서 수행하려면 약 10% 정도의 저농도 호액만이 완전 호화가 가능하다. 따라서 Stein-Hall방식의 전체 전분농도인 약 20%보다도 높은 고형분 농도의 호액을 호화시키려면 기존의 방법과는 다른 새로운 제호법이

필요하다.

따라서 본고에서는 기존의 골판지용 접착제인 전분과 Hot Corrugator의 모체를 크게 변화시키지 않는다는 명제 아래, 고농도의 새로운 접착제를 개발하고 이를 Glue Machine에 원활히 공급하면서도 건조온도를 낮춤으로써 에너지를 절감할 수 있는 연구를 소개한다.

골판지 제조공정은 크게 두 가지의 기본적인 공정요소로 나눌 수 있는데, 즉 Forming(또는 Fluting)과 접착(Bonding)이다. 본고에서는 접착에 관해서만 취급하겠다.

접착공정은 기본적으로 Single faced bonding과 Double faced bonding으로 구별되며, 이들 각각은 다시 초기접착(Green bond)과 최종접착(Final bond)으로 이루어진다.

Green bond는 짧은 시간에 강한 압력과 열을 받는 조건하에서 이루어지며 최종 접착력은 비교적 오랜 시간에 걸쳐 이루어진다. 저온접착 역시 기존의 고온접착에서 사용되는 장비에서 크게 벗어나지 않는 범위 내에서 전술한 조건들을 만족시켜야만 한다.

접착능력을 결정하는 인자로는 크게 (1)접착제, (2)접착방법, (3)접착되는 물질의 조성, 그리고 (4)결합이 형성되는 조건 등과 같은 네 가지를 들 수 있으며 결과적으로 이러한 인자들이 접착시스템을 형성한다.

이상의 네 가지 조건 중 (2)~(4)의 세 가지 조건은 기존의 고온접착 방식과 동일하게 두고, 본 연구에서는 접착제 그 자체만의 변화를 시도하고자 하였다.

저온접착건조 골판지를 제조하기 위한 본 연구에서는 크게 두 가지 관

점, 즉 (1)Adhesive formulation의 화학적 관점과 (2)접착제 제조 및 이송을 위한 호화시스템의 기계적인 면의 두 가지 관점에서 새로운 접착시스템의 확립을 시도하였다.

본 연구에서 사용될 저온접착건조 골판지용 접착제를 제조하기 위해 다음과 같은 조건들을 설정하였다.

(1) 물의 사용량을 최소화하기 위해 40~50%의 고형분 농도를 갖는 고농도 접착제이어야 한다.

(2) 고농도에서도 완전 호화가 가능해야 하고 적당한 유동성을 가져야 한다.

(3) 낮은 온도에서도 안정된 점도를 유지해야만 한다.

(4) 초기접착력이 우수해야만 한다.

(5) 고온접착방식에 비해 비교적 낮은 건조온도에서 최종 접착력을 발현할 수 있어야 한다.

## 2. 접착제의 조성변화

### 2-1. 암모늄 퍼설페이트

일반 전분은 호화시에 급격한 점도상승을 일으키기 때문에 고농도일 경우는 물론 저농도에서도 취급이 곤란하다. 전분의 호화시에 일어나는 점도상승의 정도를 알아보기 위해 무변성전분을 첨가제를 사용하지 않고 전분농도에 따라 호화시켰으며, 이때 발현되는 점도의 정도를 [그림1]에 도시하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 첨가제를 사용하지 않을 경우에는 농도가 10% 이상만 되어도 취급이 불가능한 점도를 가짐을 알 수 있다.

일반 전분을 변성시킬 때는 염산이나 황산과 같은 산을 이용하는 방법과 차아염소산 나트륨과 같은 산화

제를 이용하는 화학적 변성방법 및 효소를 첨가하여 전분호액의 점도를 낮추는 효소 변성방법도 사용되고 있는데, 수용성 산화제인 암모늄 퍼설페이트를 전분에 첨가하여 호화시키면 호액의 점도를 감소시켜 주므로 사용에 매우 편리하다.

전분의 농도가 40%로써 대단히 고농도일 경우 암모늄 퍼설페이트를 사용하였을 때 전분호액의 점도가 변화하는 경향을 살펴 보았으며 이를 [그림2]에 도시하였다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 전분농도에 대해 0.1% 정도만 사용되어도 전분호액의 점도가 급격히 감소되어 취급이 용이한 범위에 있음을 알 수 있다.

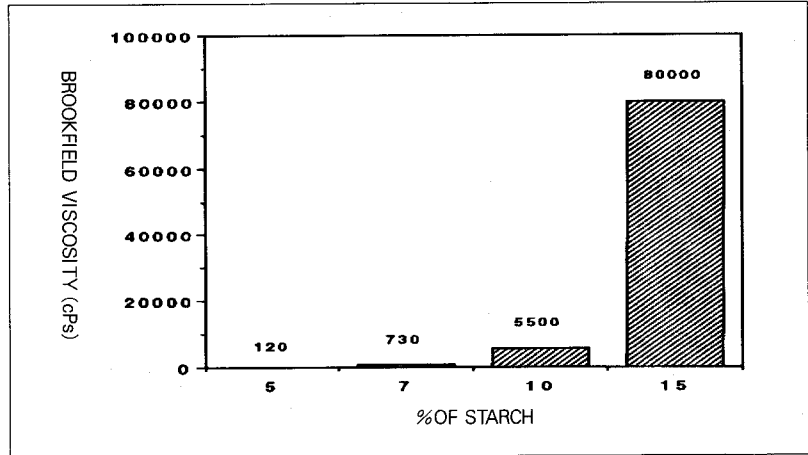
## 2-2. 보락스

전술한 바와 같이 전분용액에 암모늄 퍼설페이트 등과 같은 산화제를 사용하게 되면 분자사슬이 절단되어 취급은 용이하게 되지만 본 연구에서와 같이 고압 조건하에서 반응하게 되면 절단이 과도하게 되어 후속공정에서 Setback이 늦게 일어날 수 있는 단점이 있다.

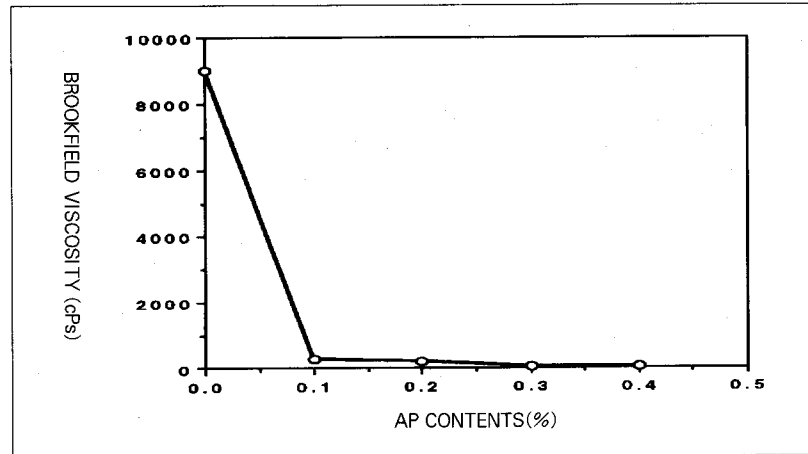
이러한 단점을 보완하기 위해 소량의 보락스를 호화 후에 투입하여 그 점착체의 점착력과 그에 따른 점도변화를 살펴 보았으며, 그 결과를 [그림 3, 4]에 각각 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 호화시 점성에는 영향을 주지 않지만 시간이 경과하는데 따른 점착력에는 보락스가 상당히 기여하고 있음을 알 수 있다.

즉 보락스는 변성반응에 직접 참여하지는 않으나 산화시에 전분사슬 길이를 줄여주는데 도움을 주며 호액의 점도를 조절하고 Setback시에 점

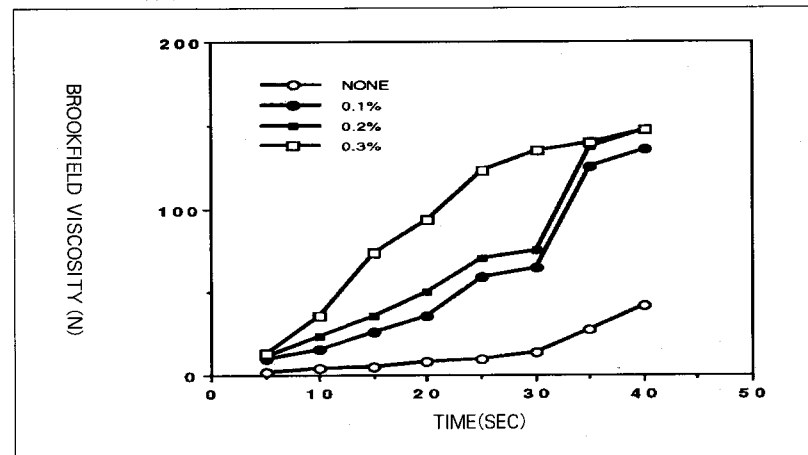
[그림1] 호화된 무변성 전분의 농도에 따른 점도변화



[그림2] 암모늄 퍼설페이트의 농도에 따른 전분호액의 점도변화



[그림3] 보락스 첨가량에 따른 초기점착력



착제의 점성을 증가시켜 접착력을 갖도록 한다. 접착제가 건조되기 전 접착력을 갖게 해주므로 초기접착력을 향상시켜 준다.

### 2-3. 클레이

클레이는 충전제 역할을 하여 고형분의 양을 증가시킴으로써 고형분의 양을 일정하게 유지시킬 경우 전분 양을 감소시켜 원가를 절감할 수 있고 최종 골판지에서 강도 증가를 도모할 수 있다. 클레이는 전분입자의 분산과 침투력을 증가시켜 주므로 접착력 향상에 기여한다.

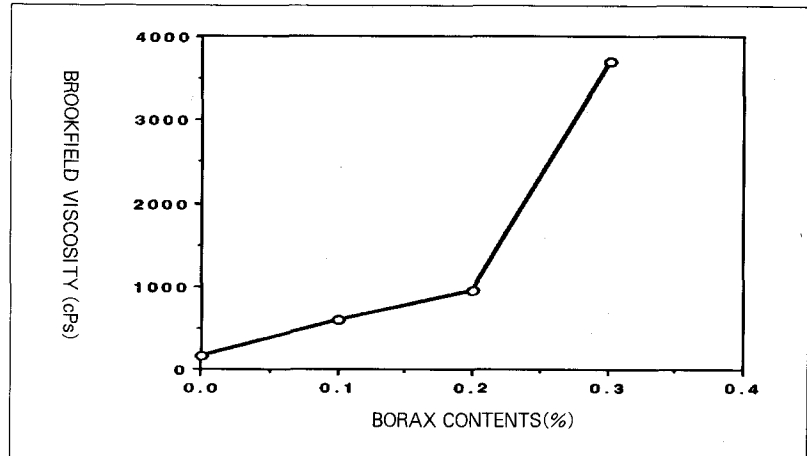
### 2-4. 실리카 졸

실리카 졸의 제조 및 사용은 본 연구 중 접착제의 조성변화의 관점에서 가장 핵심이 되는 부분으로써 접착제의 졸·겔의 개념을 도입한 것이다.

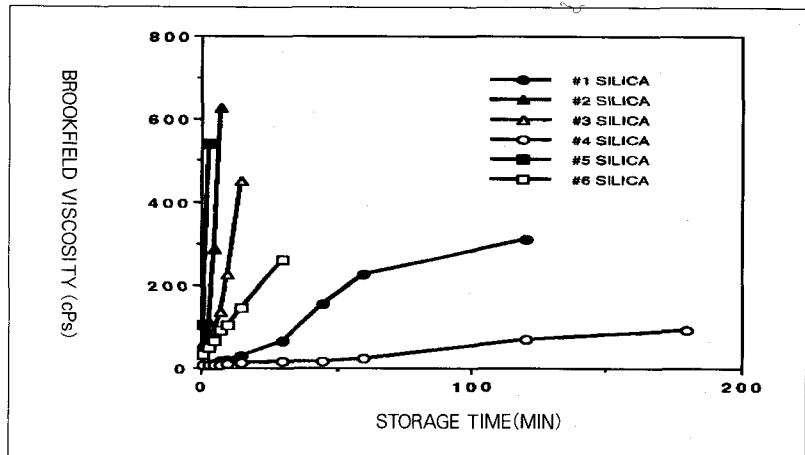
도입배경으로는 전술한 일반적인 첨가제들에 의해 호화는 용이하게 시킬 수 있으나 일단 호화후 호화액의 온도가 내려가면서 Setback이 일어나는데 Setback이 너무 높은 온도에서 발생하기 때문에 접착제의 적용시 시스템을 고온으로 유지시켜야만 하는 문제점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 접착제 슬러리를 용이하게 호화시키고 상당히 낮은 온도까지도 유동성을 유지시키다가 비교적 낮은 온도에서 급격한 Setback이 일어나서 순간적으로 강력한 접착력이 발현될 수 있는 접착제를 제조하기 위해 1946년 Dislich에 의해 도입된 졸·겔의 개념을 이용한 것이다.

전술한 바와 같이 실리카 졸을 사용하면 호화시나 호화된 전분접착제 상태에서는 우수한 유동성을 보유하고 있다가 비교적 낮은 온도의 건조

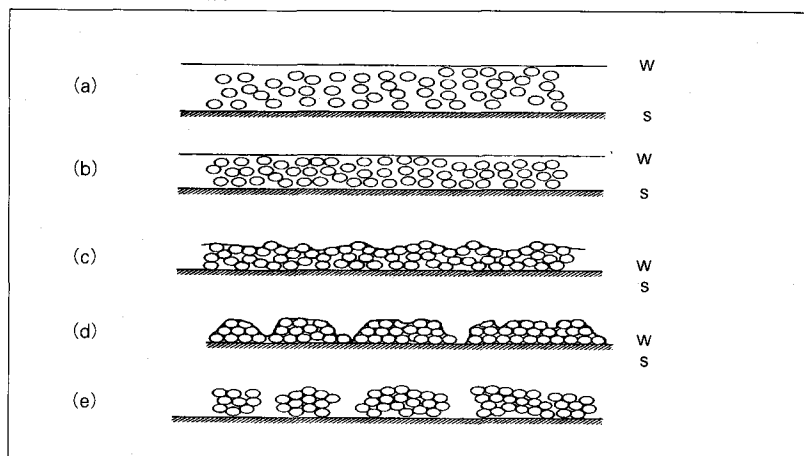
(그림4) 보락스 첨가량에 따른 전분호액의 점도변화



(그림5) 다양한 실리카 졸의 첨가시 저장시간에 따른 점도변화



(그림6) 졸·겔의 기본개념



에 의해서 급격한 접착력을 발현할 수 있다는 생각에 착안하였다.

6종의 실리카 졸을 Pilot Plant 규모로 제조하여 이를 접착제의 한 성분으로 일정량 사용하고 그 각각에 따른 점도의 변화를 [그림5]에 도시하였다. 그림의 결과는 실리카를 첨가하여 접착제를 고온, 고압에서 호화시킨 다음 이를 대기압, 상온으로 노출시켜 180분까지 방치시키면서 일정시간에 따른 점도의 변화를 측정 한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, #1과 #4의 두 가지 실리카 졸이 비교할 수 없을 정도의 우수한 유동성을 갖고 있음을 알 수 있다.

Sol-Gel Process에 의해 나타나는 이러한 특징의 원인을 모식도로 살펴 보면 [그림6]에 도시한 바와 같은 이유로 설명할 수 있다.

### 3. 접착제의 적용시스템

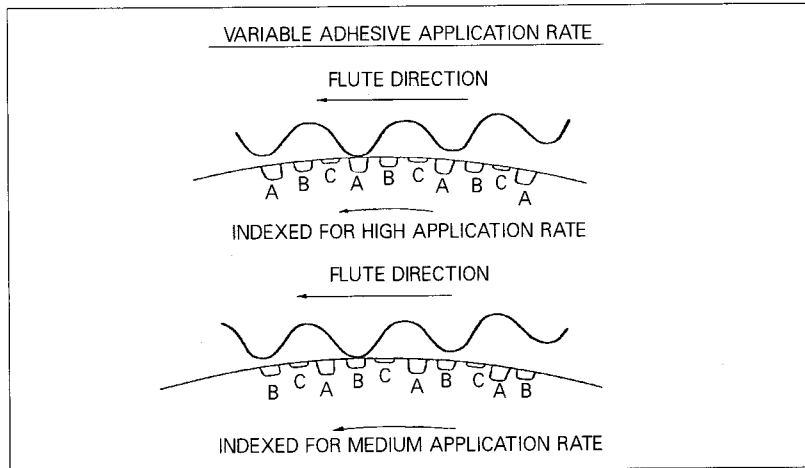
저온접착건조 골판지의 제조를 위해 기존의 Hot Corrugator의 모체를 크게 변화시키지 않는 범위 내에서 Glue Machine의 일부를 개조하였으며 접착제 호화시스템으로서 Jet Cooker를 설치하였다.

#### 3-1. Glue Machine

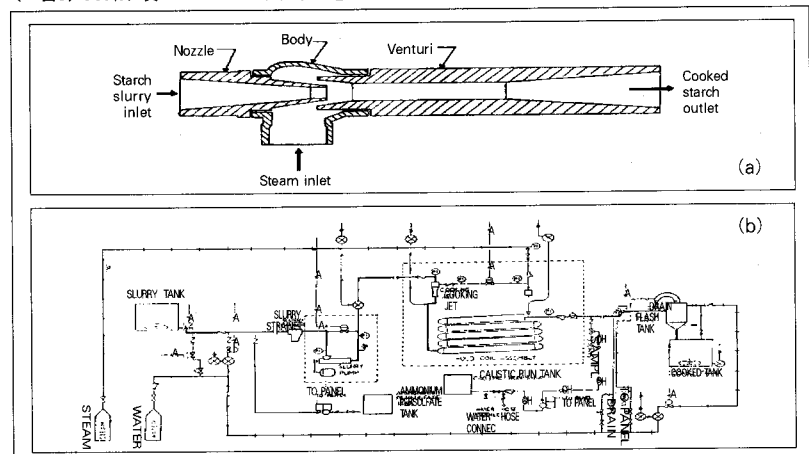
전분 Base의 Cold Set 접착제의 계량 및 유송계통은 Setback접착제에 적합하여야 하고, 20~50%의 고형분 농도에서도 2.5~7.5g/Cm<sup>2</sup>의 접착제 적용률로 자유로운 유송과 계량을 할 수 있어야 한다.

종래의 Hot Corrugation방식에서 사용하는 Two roll applicator system에서는 이러한 요구조건을 만족시킬 수 없다. 본 연구에서는

(그림7) 접착제 적용 롤의 모식도



(그림8) Jet(a) 및 Jet Cooker(b)의 계통도



Doctor blade를 겸비한 Single roll의 간단하고 청소가 용이한 Applicator system으로 상기의 요구조건을 충족시키고자 하였다.

전체 시스템은 대기와의 접촉을 피하도록 접착제 적용에 필요한 최소한의 Opening을 제외하고는 70℃ 정도의 Hot water의 순환 Jacket으로 보온될 수 있도록 설계되어 있다. 또 최소한의 Opening도 Applicator roll이 중심지와 접착상태에 있지 않거나 정전시에는 자동으로 닫혀질 수 있도록 설계되어 있다. 이렇게 함으로써 접착제로부터 열과 Vapor의 손

실을 최소화시킬 수 있다.

Glue machine의 Applicator roll의 속도는 중심지 속도에 따른 접착제 도포량과의 관계를 조사하여 조정 가능하도록 설계되어 있다. 또한 Applicator roll은 효과적인 접착제 적용을 위해 Gravure roll로 되어 있다. Gravure roll에는 세 가지 형태의 Band홈을 갖도록 만들어져 있어 접착제 도포량을 각각 2.5~7.5g/m<sup>2</sup>의 범위에서 3가지 형태로 적용될 수 있도록 조정된다. 따라서 이 롤의 속도 및 Single facer의 Corrugating roll의 속도가 대단히 중요하다. 이들

을 모식도로 표현하면 [그림7]과 같고, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 풀 정과 Gravure roll의 홈이 일치하여야 함으로 속도의 조정이 필수적인 사항으로 된다.

### 3-2. Jet cooker

기존의 Hot corrugation system에 고농도 저온접착제 호화시스템인 Jet cooker를 제작 설치하였다. Jet cooker의 Flow diagram과 그 핵심 설비인 Jet부분을 [그림8]의 (a)와 (b)에 각각 도시하였다.

본 연구에서 제작 구입한 접착제 조제설비는 Jet cooker 본체와 Positive displacement pump 및 Holding coil(또는 Retention coil)로 이루어져 있으며, 호화온도는 110~165℃의 범위에서 2℃의 오차한계 내에서 자동조절할 수 있도록 되어 있다. Cooker의 배압은 0.7~8kg/cm<sup>2</sup>의 범위에서 0.3kg/cm<sup>2</sup>의 오차한계로 자동 조절된다. 또한 Holding coil에서의 체류시간은 3분 이상으로 하고 Cooking cycle은 예열, Cooking, 세척 등의 3단계로 별도의 운전원 없이도 자동운전되도록 하였다. Cooking된 접착제가 보유하고 있는 과량의 스팀은 접착제 Holding coil 상부의 Chamber에서 Flash된다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4-1. 유동성

Jet cooker를 사용하여 10~50%의 고형분 농도로 호화시킨 후 이 접착제를 Bravender viscograph를 사용하여 온도가 감소함에 따른 Setback현상을 관찰하였다. 12% 정

도의 농도에서는 접착제의 온도가 감소해도 전혀 Setback이 일어나지 않았으며, 농도를 40%까지 상승시켜도 약 65℃ 정도에서 Setback이 일어나기 시작하기 때문에 접착제의 이송라인이나 저장탱크를 60~70℃ 정도로 보온하면 이 접착제를 사용하는데 아무런 문제가 없었다.

### 4-2. 접착력

실제 라인상에서 제조된 양면 골판지의 최종접착력 측정 결과 접착 그 자체에는 별 문제가 없었으나 라인 스피드가 30m/min 이하에서는 접착제가 Brittle해지는 경향이 있었다. 이러한 현상은 라인 스피드가 너무 저속이기 때문에 도포되는 접착제의 양이 너무 많고 접착제가 고농도이며 실리카 졸의 필름형성 능력으로 인하여 접착제가 원지의 표면으로 침투되지 못하고 원지 표면상에서 두꺼운 필름층을 형성하기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 30m/min 이상으로 속도를 증가시키면 이러한 문제는 관측되지 않는다.

본 연구의 Pilot trial에서의 건조 조건은 Single faced bonding에서 Preheater의 온도가 80℃, Double faced bonding에서 열판부의 온도는 100℃로서 기존의 낮은 건조온도는 접착제에 포함되어 있는 실리카 졸이 상당히 낮은 온도에서도 겔화되므로서 나타나는 현상으로 생각된다.

### 4-3. Warp

Pilot corrugator상에서 제조된 골판지를 30×30cm로 절단하여 25℃, 60% 상대습도로 유지되는 항온항습실에서 24시간 방치한 후 Warp의 정도를 측정하였다. Warp의 측정은

Warp가 발생하지 않은 종이면을 기준으로 하여 Warp가 발생한 종이면의 초기 기울기를 측정하여 계산하였다. 접착제 농도가 40%이고 라인스피드가 50m/min, 건조열판의 온도가 100℃였을 때 발생하는 Warp는 기존의 Hot corrugation에서 발생하는 그것에 비해 40% 수준으로 상당히 격감된 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구는 기존의 Hot corrugation system에서 탈피하여 저온접착건조방식을 실현하기 위한 한 가지 시도로써 실험실적 Batch방식을 거쳐 Pilot corrugator에서 운전한 결과는 다음과 같다.

(1) 새로운 형태의 고농도 전분계 접착제를 제조하였으며, 최종 확정된 Adhesive formulation에는 전분, 클레이, 암모늄 퍼셀페이트, 보락스, 실리카 졸, 그리고 물이 포함된다.

(2) 고농도 호화시스템인 Jet cooker를 본 연구에서 개발한 접착제와 병행 사용함으로써 50% 이하의 농도에서도 기존의 설비를 그대로 이용하여 골판지를 제조할 수 있었다.

(3) 기존의 Hot corrugation에서 심각한 문제로 제기되고 있는 Warp 현상을 50~60% 정도 격감시킬 수 있었다.

(4) 접착제를 적용한 후 건조에 소요되는 스팀압력을 기존의 8~10kg/cm<sup>2</sup>에서 3~4kg/cm<sup>2</sup>로 줄임으로써 건조에 사용되는 에너지를 절감할 수 있었다.

(5) 7.5g/m<sup>2</sup> 정도의 낮은 도포량에서도 원지의 Z강도를 나타낼 정도의 접착력을 유지할 수 있었다.