

나노탄소발열사 불량률 감소 및 제조원가 절감을 위한 자동계측장치 및 항온항습 장치 연동

윤달환*, 정민기*, 양은찬*, 안현우*, 권영웅*, 강성찬*, 김찬호*, 김종근*, 오휘찬*, 전찬혁*, 전민수*, 전아연*, 손현아*, 조상**, 윤종화***

*세명대학교 전자공학과, 한국

**군명대학교 정보공학부, 중국

*** (주)더퀘스트, 한국

e-mail : yoonhdh@semyung.ac.kr

Interworking of Automatic Measuring Devices and Constant Temperature and Humidity Devices to Reduce the Defect Rate of Nano Carbon Heating Companies and Reduce Manufacturing Costs

Dal-Hwan Yoon*, Min-Ki Jung*, Eun-Chan Yang*, Hyeon-Woo An*, Yeong-Woong Keon*, Sung-Chan Kang*, Chan-Ho Kim*, Jong-Geun Kim*, Hwi-Chan Oh*, Chan-Hyouk Jeon*, Min-Su Jeon*, A-Yeon Jeon*, Hyun-Ah Son*, Xiang Zhao**, Jong-Hwa Yoon***

*Dept. of Electronic Engineering, Semyung University, Korea

**College of Information Engineering, Kunming University, China

***TheQuest Inc. Korea

요약

본 연구에서는 저전력 고효율 탄소발열사의 불량률 감소 및 제조원가 절감을 위한 자동계측장치 및 항온항습 장치 연동기술을 개발한다. 탄소발열사 소재 생산 기술 핵심은 코팅된 소재가 일정한 저항을 갖도록 코팅(coating)하는 것이며, 일정한 저항값을 갖는 면상발열체(面像發熱絲)를 제조하는 것이 중요하다. 기존 탄소발열사의 탄소 코팅 장치는 원사공급부, 탄소 원액 함침조, 일체형 건조챔버 및 권취부를 포함하여 구성되어 있다. 탄소발열사를 생산할 경우 온도와 습도 및 생산환경에 따라 소재 생산에 중요한 역할을 한다. 종래 탄소 코팅 장치에 비하여 공간 활용성을 극대화시켜 생산 속도를 향상은 물론, 구동 모터를 줄여 건조 챔버 내부의 온도도 종래 기술보다 훨씬 낮춤으로써 전력 소모량도 줄일 수 있다. 따라서 연구를 통하여 저전력 고효율 탄소발열사 불량률 감소 및 제조원가 절감을 위한 자동계측장치 및 항온항습 장치 연동을 통해 불량률 개선 및 생산비용 절감을 시험한다.

1. 서론

나노탄소발열사 소재 생산 기술 핵심은 코팅된 소재가 일정한 저항을 갖는 것이며, 일정한 저항 값을 갖는 제품으로 면상발열체(面像發熱體) 제조법이 중요하다[1].

나노탄소발열사를 통한 면상발열체 제품은 DC 전원(7.2 V) 5단 스위치 기능을 가진 사이즈에서 AC 220 V 아답터를 사용할 수 있는 범위까지 응용되었으나, 최근 휴대폰 배터리를 사용하면서 5V/3500 mA를 지원할 수 있는 소재를 개발하게 되었다. 지금까지 선상발열사의 낮은 저항을 생산하기에 한계가 있어 새로이 보완된 시스템으로 개선할 필요성이 절실하다[2].

기존에 선상발열사(線上發熱絲)를 원단에 접착제로 부착하고, 여기에 극선을 부착하는 방법으로, 제작 과정이 필요 없이 작업시간 및 비용을 줄이는 방법을 사용하였다. 그러

나 온습도에 민감하여 여름에는 고온과 습기, 겨울에는 저온으로 생산하기에 불량률 및 불균일 저항 등으로 제품 생산에 어려움이 많았다[3].

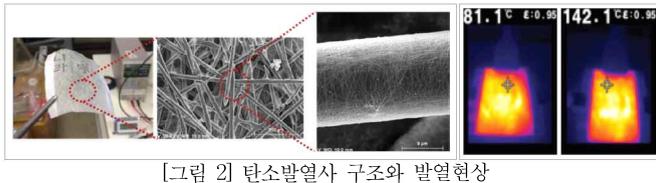
본 연구에서는 나노탄소로 코팅된 발열사 소재를 일정한 저항을 갖도록 생산하기 위하여 저전력 고효율 탄소발열사의 불량률 감소 및 제조원가 절감을 위한 자동계측장치 및 항온항습 장치 연동기술을 개발한다. 탄소발열사를 생산할 경우 온도와 습도 및 생산환경에 따라 소재 생산에 중요한 역할을 한다. 종래 탄소 코팅 장치에 비하여 공간 활용성을 극대화시켜 생산 속도를 향상은 물론, 구동 모터를 줄여 건조 챔버 내부의 온도도 종래 기술보다 훨씬 낮춤으로써 전력 소모량도 줄일 수 있다. 따라서 연구를 통하여 저전력 고효율 탄소발열사 불량률 감소 및 제조원가 절감을 위한 자동계측장치 및 항온항습 장치 연동을 통해 불량률 개선 및 생산비용 절감을 시험한다.

2. 자동계측 및 항온항습 장치 연동 구현

PE(폴리에틸렌) 세사(細絲)에 나노탄소성분을 코팅하여 나노탄소사(Nano Carbon Fabric) 또는 탄소발열사(Carbon Heating Fabric)를 이용하여 직조한 면상발열체에 TPU, PE, PET 등을 이용해 절연, 난연 및 방수 마감 코팅을 하여 각종 난방제품 등을 제작할 수 있다[4].



면상발열체는 저온 30~80℃와 고온 80~180℃까지 구분하여 사용하며, 균일 저항을 가진 탄소발열체를 생산이 매우 중요하다. 이러한 면상발열체를 직조하였을 때 저항이 다를 경우 집중된 온도 발열에 의하여 면상에 손상이 가거나 사용자가 화상을 입을 경우가 발생한다[5].



균등한 저항값을 갖는 면상발열체(面像發熱絲) 제품이 되기 위해서는 제조환경이 중요하다[2].

나노탄소코팅 장치로 원사 공급부, 탄소 원액 함침조, 일체형 건조챔버 및 권취부를 구성되며, 종래 탄소 코팅 장치에 비하여 공간 활용성을 극대화시켜 생산 속도 향상은 물론, 구동 모터를 줄여 건조 챔버 내부의 온도도 종래 기술보다 훨씬 낮춤으로써 전력 소모량도 줄일 수 있다.

저전력 고효율 탄소발열사 불량률 감소 및 제조원가 절감을 위한 자동계측장치 및 항온항습 장치 연동구성을 그림3과 같다.

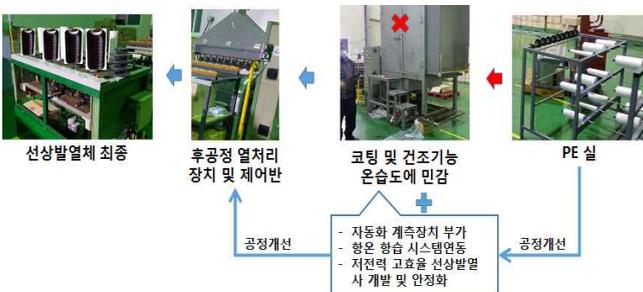


표 1은 자동 온습도 조절 및 연동장치 규격을 나타낸다.

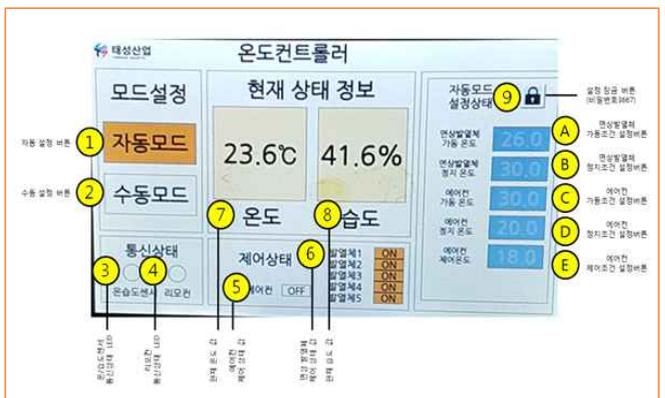
[표 1] 연동장치 규격

파라미터	Min	Typ.	Max	단위	조건
입력전압	90	-	264	VAC	-
무부하 시 입력전력	-	-	50	mW	입력 : 220VAC
출력전압	11.4	12	12.6	V	-
출력전류	1.5	-	-	A	-
출력 리플 전압	-	-	100	mV	대역폭 20MHz
효율	80	-	-	%	출력 : 12V / 1.5A

절전형 인공지능 시스템으로 넓은 영역의 온습도를 정확하게 제어하여 코팅 및 건조기를 연동한다.

BDBC2-FCS(Balanced Dehumidifying and Bath Cooling Fuzzy Control System)를 내장하여 기기 스스로 온습도 조절을 위한 최적상태를 인식하고, 기기의 각 부분이 적은 에너지로 가습히터와 제습장치를 운전한다. 저온 저습 상태의 제습은 챔버내의 가습조의 물을 냉각시킴으로 자연 증발에 필요한 증발에너지를 잃게 하고, 저온에서의 가습 조절은 포화수증기압이 아주 작으므로 작은 용량의 히터로 가습조절을 하는 첨단항온항습 기술로 이러한 기능을 컨트롤러에 내장한다. 따라서, 챔버의 온도는 항상 안정되고 운전 중 또는 정지적인 성에 제거작업이 필요 없다.

자동 계측 장치 및 항온항습 장치 연동 LCD 패널은 그림 4와 같다.



수동모드 히터동작 및 정지조건은 LCD 패널 상에 히터 수동 조작을 On/Off 시 지속적으로 동작 또는 정지한다. 에어컨 동작 및 정지조건은 LCD 패널 상에 에어컨 수동 조작을 On/Off 시 지속적으로 동작 또는 정한다.

자동모드 동작 조건에서 히터 정지조건은 온도센서가 없거나 현재온도가 정지온도보다 높을 때 사용한다. 히터 가

동조건은 온도센서가 있고, 설정된 가동온도가 현재온도보다 높고, 에어컨이 꺼져 있으며, 에어컨이 자동 Off 제어된 후 2시간이 흐르거나, Off 한 후 온도가 3도 이상 떨어질 때 가동한다. 에어컨 정지조건은 온도센서가 없거나 현재 온도가 에어컨 정지온도보다 낮을 때이다. 에어컨 가동조건은 온도센서가 있고, 가동온도가 현재온도보다 낮고, 히터가 꺼져 있으며, 히터가 자동 Off 제어된 후 2시간이 흐르거나, Off 한 이후 온도가 3도 이상 올랐을 때 가동한다.



[그림 6] 측정장치를 이용한 측정 장면

시험방법으로 탄소사 저항값의 정특성은 개선한 생산환경에서 1시간동안 생산한 탄소사를 건조한 후 롤당 4개씩 5롤에서 60 cm 씩 절단하여 50 cm 당의 저항값과 설계한 입력 저항값과의 차를 소급성이 확보된 계측장비로 측정하여 목표값을 만족하는지 여부로 판단한다.

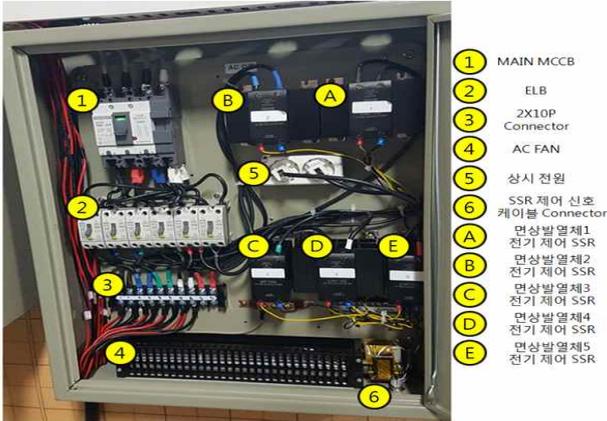


[그림 7] 저항 정특성 시험과 온습도 제어장치

[표 2] 설계저항에 따른 저항 정특성

횟수	설계저항 : 4.50kΩ			설계저항 5.00 kΩ		
	측정결과 (kΩ)	편차 (±0.34 kΩ이하)	적합	측정결과 (kΩ)	편차 (±0.38kΩ이하)	적합
1	4.23	-0.27	적합	5.08	0.08	적합
2	4.45	-0.05	적합	5.34	0.34	적합
3	4.36	-0.14	적합	5.25	0.25	적합
4	4.25	-0.25	적합	5.12	0.12	적합
5	4.41	-0.09	적합	4.99	-0.01	적합
6	4.30	-0.20	적합	5.01	0.01	적합
7	4.33	-0.17	적합	4.88	-0.12	적합
8	4.38	-0.12	적합	5.34	0.34	적합
9	4.51	0.01	적합	4.89	-0.11	적합
10	4.53	0.03	적합	5.01	0.01	적합
11	4.25	-0.25	적합	5.14	0.14	적합
12	4.50	0.00	적합	5.34	0.34	적합
13	4.39	-0.11	적합	5.34	0.34	적합
14	4.44	-0.06	적합	5.26	0.26	적합
15	4.56	0.06	적합	4.76	-0.24	적합
16	4.39	-0.11	적합	5.11	0.11	적합
17	4.17	-0.33	적합	4.75	-0.25	적합
18	4.32	-0.18	적합	4.92	-0.08	적합
19	4.28	-0.22	적합	4.73	0.22	적합
20	4.51	0.01	적합	4.78	-0.05	적합
평균	4.38	-0.12	적합	4.89	0.09	적합
편차	0.39			0.59		

계측기 신뢰도는 생산환경 개선을 위하여 제작한 온도, 습도 컨트롤러를 공인교정기관에 의뢰하여 교정결과 측정 불확도(온도 : 1.0 °C 이하, 습도 : 3 % R.H. 이하)를 만족



[그림 5] 전기제어 배전반 제작

항온항습 연동장치는 그림4에서 ㉔는 면상발열체 가동조건 설정 버튼으로 자동모드 제어시 면상발열체가 가동되는 온도조건 설정버튼이다. ㉕는 면상발열체 정지조건 설정 버튼으로 자동모드 제어시 면상발열체가 정지되는 온도조건 설정버튼이다. ㉖는 에어컨 가동조건 설정 버튼으로 자동모드 제어시 에어컨이 가동되는 온도조건 설정버튼이다. ㉗는 에어컨 정지조건 설정 버튼으로 자동모드 제어시 에어컨이 정지되는 온도조건 설정버튼이다. ㉘는 에어컨 제어온도 설정버튼으로 자동모드 에어컨 On 조건에서 동작시킬 때, 에어컨의 목표 온도를 나타낸다.

3. 실험결과

저전력 고효율 탄소발열사 불량률 감소 및 제조원가 절감을 위해 자동 측정장치 및 상온항습장치 연동의 성능시험 대상은 개선한 생산환경에서 대기환경 (28±5) °C, (80±15) %R.Hd에서 생산한 탄소사의 저항값 정특성, 4계절 생산할 수 있도록 개선한 생산환경 제어용 온.습도 Controller 정밀도, 4계절 생산이 가능한 생산환경 구축 여부 및 저항값의 정특성을 측정하여 설계값 특성과의 차로 시험한다.

하는지 여부로 판단한다.

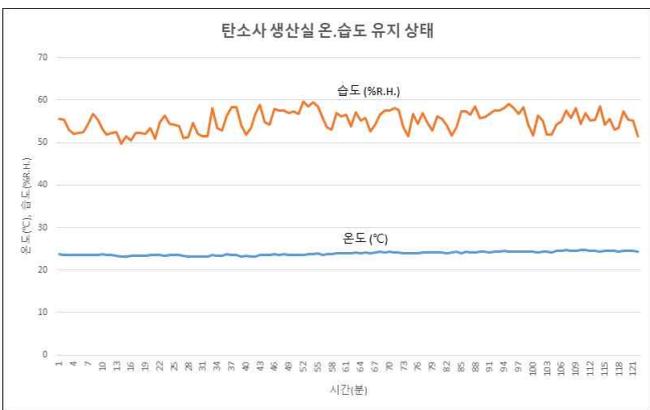
생산성은 기존에는 생산환경을 제어할 수 없어 계절생산(봄, 가을)에 의존하던 것을 최적의 생산조건 알고리즘을 개발하여, 생산환경을 4계절 생산시스템에 적합하도록 개선하여 목표 불량률 이하를 달성한다. 시험결과의 판단은 24시간 온도, 습도 제어 상태를 측정하여 목표값(온도: 30 °C ±10 °C, 습도 : 40 % R.H. 이하) 을 만족하는지 여부로 판단한다.

불량률은 탄소사 저항값의 정특성시험 결과 불량률이 목표값 이하인지 여부로 판단한다. 표 3은 시험항목에 대한 목표와 시험결과로 모두 만족하였다.

[표 3] 시험항목과 결과

시험항목		목 표	시험결과
탄소사 저항값의 정특성		(4.5 ±0.34)kΩ (±7.5 %)	4.38 kΩ (-0.4 %)
		5.0 kΩ ±0.38kΩ (±7.5 %)	4.89kΩ (-2.2 %)
계측기 신뢰도 (지시값편차)	온도(°C)	2.0 °C 이하	0.8 °C
	습도(%R.H.)	5 %R.H. 이하	3.8 %R.H.
생산성	온도 변화 (120분)	(25 ±5) °C 유지 여부	최저 : 23.1 °C 최고 : 24.8 °C
	습도 변화 (120분)	60 %R.H. 이하 유지여부	최저49.7 %R.H. 최고 59.7 %R.H.
불량률		10 % 이하	0 %

탄소사 생산실 온,습도 유지상태를 2시간에 걸쳐 측정한 그래프는 그림 8과 같다.



[그림 8] 온도 습도 측정 데이터 변화율

4. 결 론

본 연구에서는 나노탄소로 코팅된 발열사 소재를 일정한 저항을 갖도록 생산하기 위하여 저전력 고효율 탄소발열사의 불량률 감소 및 제조원가 절감을 위한 자동계측장치 및 항온 항습 장치 연동기술을 개발하고, 국가공인기관(KTL)에서 제

안한 Data Logger, Humidity Transmitter 및 Calibrator를 이용하여 시험을 실시하였다.

탄소사 저항값의 정특성 시험은 연구결과물의 환경에서 생산한 탄소사를 50cm간격으로 20회 측정된 평균 저항값을 설계한 저항값(4.5 kΩ, 5.0 kΩ)과 비교하였다. 저항값은 교정한 계측기로로 유효숫자 3자리로 측정하였고, 설계값과의 허용차는 7.5 % 이하로 하였다.

계측기 신뢰도는 생산환경 개선을 위하여 제작한 온도, 습도 콘트롤러 지시값을 공인기관의 교정한 측정기와 현장에서 비교하여 그 차가 허용값(온도 : 2 °C 이하, 습도 : 5 %R.H. 이하)을 만족하는지 여부로 판단한다.

생산성 향상은 기존에는 생산환경을 제어할 수 없어 계절생산(봄, 가을)에 의존하던 것을 최적의 생산조건 알고리즘을 개발하여, 생산환경을 4계절 생산시스템(생산성향상)에 적합하도록 연구결과물을 개발하였다. 4계절 생산 시스템 구축여부는 생산환경이 안정화된 이후 120분동안 온,습도 제어 상태를 측정하여 목표값(온도: 25 °C ±5 °C, 습도 : 60 % R.H. 이하)를 만족하는지 여부를 교정한 Data Logger의 기록 데이터로 판단한다.

불량률은 시험한 결과의 불만족 백분율(%)로 하여 만족함을 얻었다.

이상과 같이 탄소사 저항값의 정특성 시험, 계측기 신뢰도, 생산성 향상 및 불량률 등의 적합성 진술을 위한 의사결정규칙은 보호대역(w=0) 없는 이분/이분법적 단순채택으로 하였다(만족/불만족)

참고문헌

- [1] 이홍열, “탄소발열사를 이용한 발열 원단 제조 방법”, 태성산업, 특허 제10-1161102호, 2012. 06
- [2] 윤달환, “탄소 면상 발열 기능을 갖는 보온의류” 제 10-2021-0008129호, 2021,01
- [3] 한국산업기술시험원, 시험성적서 Technical Report No. 22-046546-01-01, 2021.12
- [4] Coated Fabric Market, Market and Markets, 2017
- [5] Coated Fabrics Market by Product and Region - Global Forecast to 2023