방열소자 나노튜브 제조 시스템을 위한 공정 및 장비 개발에 관한 연구

최갑용[1*]
[1]아주자동차대학 자동차계열

A Study on The Development of Process and Equipment for Heat Radiating Module Nano-Tube Manufacturing System

Kab-Yong Choi[1*]
[1]Division of Automobile, Ajou Motor College

요 약 컴퓨터를 비롯한 고집적 회로를 갖는 시스템의 작동 열 배출이나 열전소자를 이용한 냉난방시스템의 열이동에는 고성능 열전달 통로가 필요하다. 이와 같은 고효율 열전달 시스템에 효과적으로 대처할 수 있도록 개발된 것이 나노튜브이다. 본 연구의 목적은 방열소자(이하 나노튜브라 한다.) 제조를 위한 공정과 제조시스템을 개발하는데 있다. 지금까지 국내에 보급되고 있는 나노튜브는 대부분 수입에 의존하고 있기 때문에 본 연구는 기술적인 측면에서 방열소자 개발에 기여할 뿐만 아니라 경제적으로는 큰 수입대체효과를 가져 올 것으로 기대된다. 본 연구는 나노튜브의 제조공정과 제조시스템 개발에 대한 전 과정을 보인다.

• **주제어** : 나토튜브, 연전달, 방열모듈, 열파이프, 공정

Abstract High performance heat transfer channel is necessary to discharge operating heat of computer and high integrated circuit, refrigerator and air conditioning system. Nano-Tube is useful module witch is able to cope with heat transfer problems. The purpose of this study is to develop the process and manufacturing system for Nano-Tube. Since the Nano-Tube which is used in our country is imported, this study will contribute the development of Nano-Tube technique and economic profits with import substitute effect. This study show the procedure of process and manufacturing system development..

• **Key Words** : Nano-Tube, Heat Transfer, radiating module, heat pipe, Process

1. 기술개발의 필요성과 목적

1.1 기술개발의 필요성

LED, LCD를 비롯한 민감하고도 정밀한 고집적 회로를 갖는 전자 및 통신장비들은 차폐시키거나 밀폐시켜서 외부의 다양한 노이즈나 위험으로부터 보호해야 하는데 이 때 가장 큰 문제가 바로 자체의 작동열이다. 지금까지 보편적인 작동열 제거방식은 열원으로부터 열을 흡수하여 대기로 방사하는 알루미늄 방열판과 방사된 열을 배출하는 송풍기로 구성된 방열시스템을 이용하는 것이 보편적이었다. 그러나 기존의 방열판은 그 성능에 한계가 있기 때문에 용량을 높이기 위해서는 방열시스템의 체적을 키워야하고 이로 인하여 발생하는 문제 또한 적지 않게 발생하고 있다. 기존의 방열판이 가지고 있는 문제들을 극복하기 위하여 제안되고 있는 것이 바로 방열소자인 방열나노튜브이다. 이 방열나노튜브와 기존의 방열판과의 차이는 다음과 같다. 기존의 알루미늄과 같은 방열판은 고상(固相)의 단일소재로 되어 있기 때문에 그 물성

*교신저자 : 최갑용(kychoi@motor.ac.kr)
접수일자 2011년 8월 1일 수정일 2011년 8월 29일 게재확정일 2011년 9월 15일

이 갖는 한계이상의 효율을 얻기가 어렵지만 방열소자(이하 나노튜브라 칭한다.)는 2상 이상의 태가 다중으로 결합해서 성능을 발휘하기 때문에 열전달 효과를 극대화 할 수 있다는 것이다. 나노튜브를 이용하면 보다 경박단소(輕薄短小)한 방열시스템을 만드는 것이 가능하게 되었다. 지금까지 나노튜브는 대부분 수입에 의존하고 있다. 이 때문에 국내의 중소기업들은 신제품 개발에 필요한 다양한 크기와 형상을 적시에 저렴한 가격으로 제공받지 못했기 때문에 어려움이 많았다. 따라서 본 연구를 통하여 나노튜브의 제조공정을 개발하고 이와 함께 제조시스템을 개발하여 이 분야의 기술 발전과 수입대체의 경제적 효과를 얻고자 한다.

1.2 연구 목적

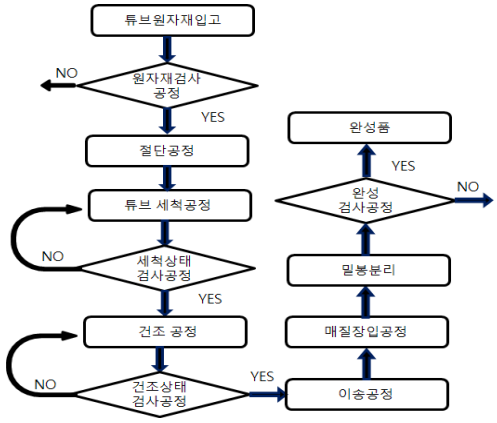
본 연구의 목적은 나노튜브의 제조 공정과 이를 이용한 나노튜브 제조시스템을 개발하는데 있다. 제조공정 연구에서는 먼저 선진기술에 대한 분석을 실시하였다. 이를 위하여 선진제품의 구조와 물성을 실험과 분석을 통하여 연구하고 각 공정들에 대한 기술적인 체계를 정립하였다. 이어서 제조시스템의 개발은 공정연구의 결과를 토대로 3차원 설계와 성능실험을 실시하고 모의실험과 분석을 실시한 후 제작도를 작성하였다. 제작도를 바탕으로 실물을 제작한 후 조립과 시험제작을 통하여 제조시스템의 개발하는 과정을 본 연구에서 보이고자 한다.

2. 나노튜브 제조공정에 관한 연구

2.1 제조공정

나노튜브의 개발을 위한 연구는 단순한 제품의 성능이나 기능의 차원에서 만이 아니라 생산성제고를 통한 경제성을 염두에 두는 공법개발의 차원에서 이루어져야 한다. 그 이유는 기존의 방열판이 가지고 있는 강점과 경쟁할 수 없다면 연구의 의미가 없기 때문이다.

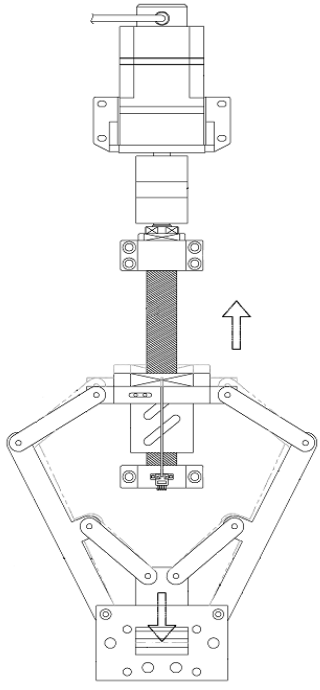
지금까지 조사한 바에 의하면 나노튜브의 제조 방식은 우선 두 가지로 대별된다. 하나는 개별제조방식이고 다른 하나는 연속제조 방식이다. 개별제조방식은 본연구의 대상으로 하지 않는다. 그 이유는 앞에서 논한 바에 따라 경제성이 없기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 연속제조 공정에 대하여 다루고자 한다. 연속제조 공정은 [그림 1]과 같은 공정흐름을 갖는다. 먼저 튜브 원자제가 입고되면 원자재 검사를 실시하고 이어서 제조시스템의 용량에 맞추어 절단이 이루어진다. 절단된 튜브는 검사와 함께 세척을 실시하고 세척이 이루어 진 후 건조 시킨 다음 검사와 함께 다음 공정으로 넘어간다. 이송된 튜브의 내부에 매질을 투입한 후 규격의 크기에 맞추어 압착과 절단을 동시에 실시한다. 제조기에서 나온 나노튜브는 최종검사를 거쳐서 완성품으로 입고된다.



[Fig. 1] Nano Tube Process

2.2 제조공정 메커니즘 설계

2.2.1 압착공정

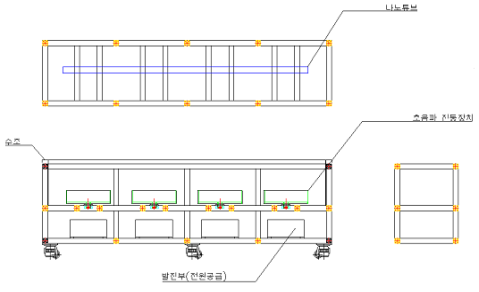


[Fig. 2] Compress-Cut off Device

나노튜브의 제조에서 핵심은 자동 컴프레스-컷오프 장치이다. 이 장치는 튜브 속에 투입된 매질이 새지 않도록 안전하게 밀봉시킴과 동시에 절단시켜서 연속으로 제조되는 전 후 나노튜브를 분리시키는 기능을 갖는다. 밀봉은 압착에 의하여 이루어지기 때문에 적절한 압착력을 제어하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 [그림 2]와 같이 컴프레스-컷오프 장치를 설계하고 압착력은 제어가 용이한 서보모터를 이용하기로 하였다.

2.2.2 세척공정

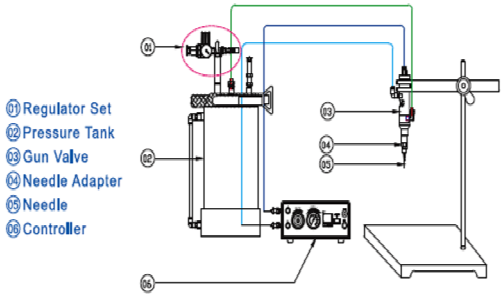
나노튜브의 원소재는 정밀금형을 통해 압출 성형하여 제작한다. 하지만 일반 압출성형방식으로는 미세구조로 되어있는 금형이 압출의 강도를 견뎌내기 못하고 파손하는 현상이 발생하게 된다. 이로 인해 한 번에 압출성형이 어렵고 금형에 압력을 조정하기 위해 3단계의 압출성형을 거쳐 제작되어진다. 이로 인한 내부의 미세 이물질 및 압출 성형 후 정밀 컷팅을 통해 절단된 내외부등 압출과정에서 발생되는 이물질들이 존재한다. 이러한 이물질들을 제거하기 위하여 세척한 후 검사를 엄격하게 실시하여야 한다. 초음파 세척방식을 도입하여 신속성과, 안전성, 경제성을 제고하였다. 세척장치의 설계도는 [그림 3]과 같다.



[Fig. 3] Clean Unit

2.2.3 매질주입공정

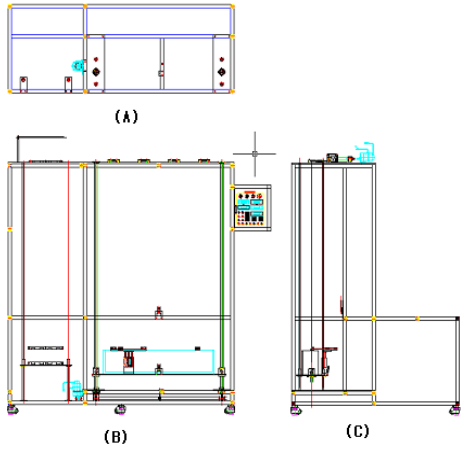
열전달 매질은 그 기능성을 강화하기 위하여 나노 크기의 열전달 입자와 유체의 혼합으로 이루어져 있다. 이 매질을 튜브에 주입하는 자동시스템은 [그림 4]와 같이 설계하였다. 나노입자와 유체가 지속적으로 혼합되도록 구성된 압력탱크 (Pressure Tank)와 디스펜서의 컨트롤러는 기존의 단동식 방식에서 복동식 방식으로 변경하여 압력탱크에서 자동적으로 디스펜서에 주입되게 함으로써 매질이 디스펜서에서 장비로 지속적으로 공급되어지도록 공압을 제어하여 일정하게 주입할 수 있도록 구성하였다.



[Fig. 4] Input Device

2.2.3 유니트 콘솔 설계

나노튜브의 제조공정별 분석을 통하여 설계한 각 공정의 장치들은 시스템적인 통합을 이루어야 한다. [그림 5]의 (A)는 세척시스템, (B)와 (C)는 유니트 콘솔을 보여주고 있다. 유니트 콘솔에는 이들 외에도 제어장치를 비롯한 많은 장치가 장착되어 있다.



[Fig. 5] Unit consol

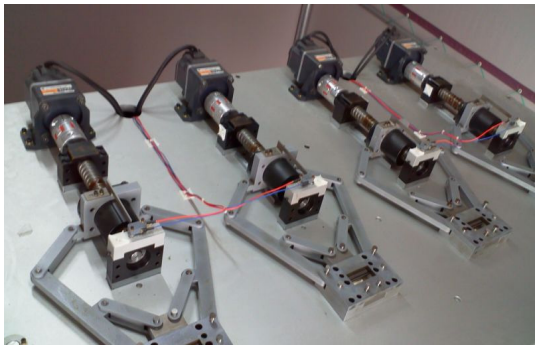
3. 제조 시스템 개발에 관한 연구

3.1 각 공정 메커니즘 제작

여기에서는 지금까지 연구를 통하여 설계한 자료를 토대로 제작된 실물 장치들을 소개하고 완성 조립된 제조시스템을 소개한다.

3.1.1 컴프레스-컷오프 장치

완성된 컴프레스-컷오프 장지는 [그림 6]과 같다. 생산성을 고려하여 하나의 시스템에 4조의 컴프레스-컷오프를 배치하였다. 본 장치의 특징은 서보모터를 이용하여 압력을 제어한다는 것이다. 본 장치의 작동원리는 부착된 서보모터에 의해 전달된 회전운동이 플렉시블 커플링을 거쳐 볼 스크류로 전달되어 직선운동으로 전환되고 링크에 연결된 압착 날을 서서히 조여주어 나노튜브를 압착하게 된다. 본 연구에 이어서 적정압력 설정과 제어전략에 대한 후속연구가 필요할 것으로 생각된다.



[Fig. 6] Compress-Cut off Device

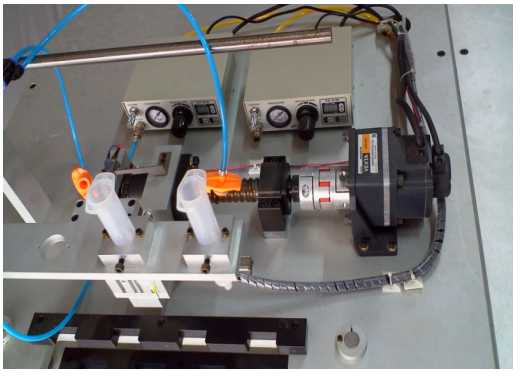
3.1.2 세척유니트 제작

초음파 세척기는 [그림 7]과 같다. 세척기에 사용되는 세척제는 증류수과 공업용 세제를 혼합해서 사용한다. 본 장치는 주변의 먼지나 이물질이 유입되지 않도록 보호장치가 부착되어 있고 초음파 발생기, 전원 공급 장치, 자동이송장치로 이루어져 있다. 본 장치는 나노튜브의 최대길이를 2M까지 세척할 수 있도록 규격화 하였다. 탱크는 세척제를 사용한 후에 쉽게 배출하고 청소가 용이하도록 하였으며 부식을 일으키지 않은 재료를 사용하였다.

[Fig. 7] Clean Device

3.1.3 매질 주입장치

매질 주입장치는 [그림 8]과 같다. 종래의 단동식 주입기가 가지고 있던 문제점들을 보완하였다. 본 장치는 복동식 디스펜서, 저장탱크 (20리터), 정밀주입 건밸브, 공압 제어장치 등으로 구성되어 있다. 탱크 내의 매질의 소모에 의한 압력변화를 감지하고 제어할 수 있도록 설계되어 있을 뿐만 아니라 주위온도의 변화와 매질의 체적변화에도 대응할 수 있도록 하였다.



[Fig. 8] Input Device

3.2 전체 제조시스템

3.2.1 유니트 콘솔

나노튜브 제조 시스템은 먼지나 유해한 성분이 제조과정에서 유입되지 않도록 보호할 수 있어야 한다. 이를 위하여 [그림 9]와 같이 주위 환경으로부터 완전히 차폐시키고 있다. 작업을 위하여 전면에는 슬라이딩 커버를 설치하였으며 매질의 주입 시 일정한 온도를 유지할 수 있도록 온도제어 장치가 설치되어 있다.

[Fig. 9] Unit consol

3.2.2 유니트 제어시스템

[그림 10]은 전체시스템을 제어할 수 있는 제어시스템이다. 본 제어시스템은 전원부, 각종 서보모터 제어부, 정온도 제어부, 타이머, 조작부 등으로 구성되어 있다. 조작신호는 각각의 서보모터 드라이버와 PLC로 전달되어서 구동장치들(서보모터, 공압장치, 전기장치, 주입장치)을 작동할 수 있도록 되어 있다. 그리고 CCTV, 원격제어, 모니터링, 냉온시스템 제어 나노튜브 제작간의 공정에 대한 모니터링 내용을 실시간으로 저장관리하며, 원격으로 제어가 가능하도록 프로그램이 구성되어 있다. 원격으로 모니터링뿐만 아니라 자동화 공정의 제어 또한 가능하여 원격으로 장비의 현재 구동상태 및 일부기능의 조작을 원격으로 할 수 있다.

[Fig. 10] Unit control system

온도센서가 친환경 냉매 주입장치 내부에 장착되어 있어 측정된 온도의 변화에 따라 자동적으로 냉온 유니트가 동작하여 친환경 냉매 주입장치 내부의 온도를 유지해주는 역할을 수행하게 된다.

4. 연구결과 고찰

4.1 제조시스템을 이용한 완성품에 대한 평가

본 연구를 통하여 개발된 나노튜브의 완성품은 [그림 11]과 같다. 본 제품은 시작품으로 제작되기는 했지만 다양한 품질검사 결과 우수한 것으로 검증되었다.

[Fig. 11] Nano Cube completon

4.2 기술의 적용분야와 파급효과

나노튜브는 열전소자를 사용한 방열 시스템의 적용에 적합하기 때문에 이 분야의 획기적인 발전이 기대된다. 실제로 이 분야의 나노튜브활용이 가장 뚜렷한 증가세를 보이고 있지만 수입에 의존하고 있었기 때문에 비싼 가격과 용도에 맞는 형상이나 규격, 적시공급에 대한 문제들이 본 연구의 결과로 상당히 해소 될 것으로 기대된다. 그리고 LCD나 LED를 활용하는 영상시스템이나 조명분야의 방열기술의 발전에도 파급효과가 클 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 수입대체 및 수출증가 효과도 기대된다.

5. 결론

지금까지 나노튜브의 제조공정연구와 제조시스템 개발과정을 보였다. 완성된 나노튜브 제조시스템에대한 평가와 분석을 살펴보면 다음과 같다.

1. 나노튜브 제조시스템은 많은 모의실험과 분석을 토대로 개발되었기 때문에 기존의 제품과 비교하여 손색이 없는 성공적인 제품을 만들 수 있었다.
2. 안정된 생산성을 유지하기 위해서는 각 공정별 또는 공정간 상호작용의 한계성능을 분석하여 개선해 나가야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.
3. 본 연구를 통하여 개발한 나노튜브 제조시스템의 가장 핵심적인 기술은 컴프레스-컷오프 장치의 제어기술이라 할 수 있다. 제품의 양부를 결정하는 압착력의 정도를 제어하는 기술인데 제품의 크기와

작업의 속도에 따라 가변적으로 변동하기 때문에 적절한 압착력을 구하기 위해서는 더 많은 실험을 실시해야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] Donald R. Coughanowr,"Process Systems Analysys and Control", McGRAW-HILL, pp. 249-281, 2002.

[2] R. Yun, "Evaluation of Performance of a Residental Air-Conditioning System Using Micro-Chanel and Fin-tube Heat Exchanger", Proceedings of the SAREK, pp. 28-35, 2007.

[3] Young Chul Kwon ;Jeong-tae Kwon ;Ji Hwan Jeong ;Sang Jae Lee ;Dae Hun Kim "Performance of a 2 room multi-heat pump with a constant speed compressor", Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea. Vol. 12, No. 4, pp. 184-191, 12. 2004.

저자소개

최 갑 용(Kab-Yong Choi) **[정회원]**

- 1996년 8월 : 숭실대학교 대학원 졸업(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 교수(자동차개발전공, 금형전공)

<관심분야> : 시스템 설계/제어, CAD/CAM/CAE