

# 고밀도 팽창흑연 성형품의 기계적 특성에 관한 연구(1) A Study of Mechanical Properties on High Density Graphite Products with Expanded Graphite(1)

신 영 우  
Y. W. Shin

**Key Words** : NGF(Net shaped Graphite product Forming)method, Tensile Test(인장시험)

**Abstract** : Graphites is well known to have superior advantages to high-temperature, high-pressured, and strong acid-state gas or liquid because it is very stable and chemical structure. Nowadays the new plant with high performance is developed in field of chemical industries, so the need of graphites is increasing rapidly. In this paper, newly developed graphite products with high density is investigated by the mechanical properties of that. I introduced the graphite material which developed for this experiment by the forming process in order to compare to the commercial graphite sheet from expanded graphite which made by the rolling process. Through measuring density and hardness test also tensile test, I investigated the characteristics of these materials. It is verified that the newly developed graphite products forming method is able to make graphite products which have superior mechanical properties than that of commercial graphite sheet.

## 1. 서 론

흑연은, 내열성, 내화확성이 뛰어나고 우수한 전기 전도성, 열전도성 등의 특성이 있는 재료로 알려져 있다. 그러나, 흑연은 층과 층이 감마결합이라는 미약한 입체구조를 가지는 층상구조물이므로, 층과 층이 미끄러지기 쉬워서, 그 자체로는 성형하기가 힘들다. 흑연성형품의 제조는 흑연도가나와 같이, 천연 흑연을 미세한 분말로 만들어 결합제와 섞어서 소결 시키거나, 코크스와 같은 필라에 폴타르피치와 같은 결합제를 혼합하여, 성형, 소성, 흑연화의 과정을 거쳐서 블록형상의 성형품을 만드는 방법이 알려져 왔으나, 제조과정 중, 필연적으로 부피가 수축하므로 필요로 하는 정확한 형상과 치수의 제품을 얻기가 힘들고, 흑연성형품의 제조에 많은 시간과 에너지를 필요로 한다<sup>1)</sup>. 팽창흑연(expanded graphite)은, 천연 흑연을 산처리하여 얻어진, 흑연층간화합물(GICs)에 에너지를 가하여, 팽창시킨 것으로서, 매우 밀도가 낮으나, 팽창되어진 흑연은 더 이상 층과 층이 미끄러지는 일이 없이 성형이 가능하여, 프레스이나

롤링의 과정을 거쳐서, 가스켓용의 얇은 시트재를 만드는 원료로 이용된다<sup>2)</sup>.

그러나, 팽창흑연은 팽창과정에서 흑연의 층과 층 사이에 들어있던 층간물질이 급격히 가스화되어 빠져나가게 하여 제조되므로, 그 밀도가 매우 낮다. 그래서 현재의 일반적인 팽창흑연성형품의 제조과정에서는, 한번의 가공으로 성형체를 만들기가 어려우므로, 공기를 빼고 밀도를 높이기 위하여 연속압연이 필수적이다. 따라서 만들어지는 팽창흑연 성형품은 형상이 판재일 수밖에 없고, 높일 수 있는 밀도도 한계가 있으며, 시트형상이라도 만들 수 있는 두께에 제한이 있다. 따라서 그 사용범위도 국한된다.

본 연구자는, 팽창흑연을 이용하여, 고밀도 판상 흑연성형품 제조공정을 개발하였고<sup>3)</sup>, 다양한 형상의 정형가공이 가능한 고밀도 흑연성형품의 제조공정을 개발하여, 특허 출원을 하고<sup>4)</sup>, PCT로부터 독자적 기술임을 통보 받았다<sup>5)</sup>. 이번에 개발된 제조공정은 밀도를 높일 수 있을 뿐만 아니라, 가공조건이나 사용결합제를 바꾸어, 흑연 성형품에 원하는 성질을 부여하는 것이 가능하고, 필요한 형상의 제품을 정형가공하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 새로이 개발된 신 공정에 의한 흑연성형품 중, 결합제로서 금속무기염을 사용한 성형

접수일 : 2005년 8월 5일  
신영우(책임저자) : 여주대학교 냉동공학과  
E-mail : shin5381@yosu.ac.kr Tel. 061-659-3275

품의 기계적물성중에서, 일차적으로 인장강도를 중심으로 기존 팽창흑연제품과 비교 검토하여, 그 특성을 살펴보고, 새로이 개발된 공정에 의한 흑연 성형제품의 응용 및 발전방향을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시편 제조공정

팽창흑연으로 흑연성형품을 만드는 방법은, 흑연 층간화합물(Graphite intercalation compounds; GICs)을 팽창시켜서 팽창흑연을 만들고, 이를 프레스나 롤링기를 사용하여 압축해서, 판상의 제품을 만드는 방법이 일반적으로 알려져 있다<sup>2)</sup>. 이 경우 팽창흑연의 밀도가 매우 낮고, 압축이 진행됨에 따라서, 내부의 공기가 빠져나가기 힘들게 되므로, 연속압연공정을 도입하여, 서서히 그 두께를 줄이고, 밀도를 높여나가게 된다. 이러한 제품은 팽창흑연의 압축이 진행됨에 따라서 공기층이 내부에 미세하게 분포되게 되며, 통상적으로 최대 비중량이 1정도이며, 가공법의 특성상 판상의 제품 밖에 만들 수 없다. 두 번째 방법은 흑연입자를 판재형태로 고밀도의 박판을 연속적으로 제조성형하거나, 이러한 얇은 박판을 다층화하여 판재형태로 제조하는 것이다<sup>3)</sup>. 이 경우, 고밀도의 제품을 얻을 수는 있으나, 그 제작공정상 판재나 판형의 제품 형태로 될 수밖에 없다.

새로이 개발된 방법은, 팽창흑연으로서 고밀도의 플레이크상의 1차 성형품을 만들어 금형으로 원하는 형상의 제품을 제작하므로, 고밀도이면서 대부분의 필요형상을 만들 수 있다. Fig. 1은 일반적 연속압연 공정과 이번에 개발된 NGF(Net-shaped Graphite product Forming method)법에 대한 개략도를 보여준다.

본 연구에서는, 4가지 인장시편을 각각 2개씩 준비하여 실험하였고, 첫 번째와 두 번째 시편은 현재 시판되고 있는 압연판재 중, 성적서가 없는 호칭두께 3mm의 중국제 판재와, 동일한 호칭두께의 성적서와 판재의 시리얼넘버가 있는 독일 SGI카본그룹의 판재를 구하여, 각각을 Fig. 2의 13B호 시편형상으로 절단하여 인장시편을 만들었다. 세 번째와 네 번째 인장시편은 NGF법에 의하여, 시편형상의 금형틀에 넣어 제조하였고, 결합제로서는 금속염의 복합재질을 사용하고, 각각 압축하중을 161.8 KN과 294.2 KN으로 하여 제작하였다.

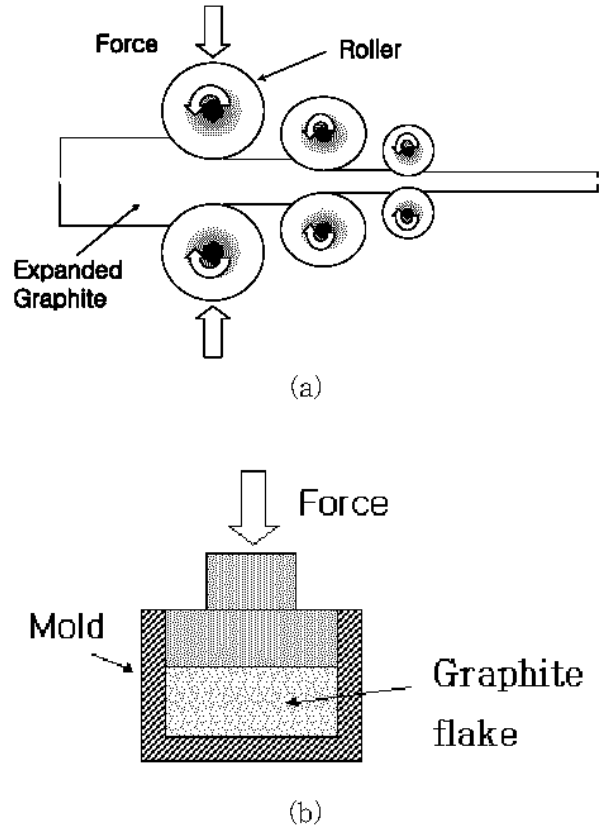


Fig. 1 Schematics of manufacturing processes of graphite sheet material using expanded graphites; (a) rolling method, (b) NGF method



Fig. 2 Tensile test specimen

### 2.2 실험 및 고찰

#### 2.2.1 비중량

현재 시판되고 있는 팽창흑연에 의한 성형판재는 팽창흑연 자체의 본래 밀도가 1/200이하로 매우 낮고, 가공이 진행됨에 따라, 내부공기는 밖으로 전부 나가지 못하고, 성형품내부에서 미세한 공기층을 형성하며, 분포되게 된다. 이러한 이유로 가공정도에 따라, 그 밀도가 틀리게 되며, 일정이상의 두께로는 필요한 밀도를 얻을 수 없으므로, 그 제작에 일정한 한계를 가지게 된다. Fig. 3은 의한 팽창흑연의 모습을 나타낸 SEM 사진이다.

NGF법에 의하여 제작된 시편은, 성형공정의 특성상, 압연에 의한 팽창흑연 성형품과는 달리, 거의

등방성의 성질을 갖고 있으며, 기존의 시판의 팽창 흑연 제품과 비교하여, 고밀도 이다. 이번 실험에서는 각 시편의 외견상의 밀도차를 알아보기 위하여, 각 시편의 체적과 무게를 측정하여, 각각의 비중량을 구하여 보았다. Table 1은 네 가지 시편의 비중량을 나타내었다.

각 제품마다의 결합제의 사용은 각 회사마다의 고유기술이므로, 결합제의 사용량을 측정 할 수 없어 비중량으로 그 개략적인 밀도를 측정하였고, NGF법에 의한 시편이 약 2배의 비중량을 가지는 것으로 확인되었다. 이는 새로운 방법에 의한 제품의 밀도가 시판제품에 비하여 높다는 것을 의미한다고 보아도 될 것이다.

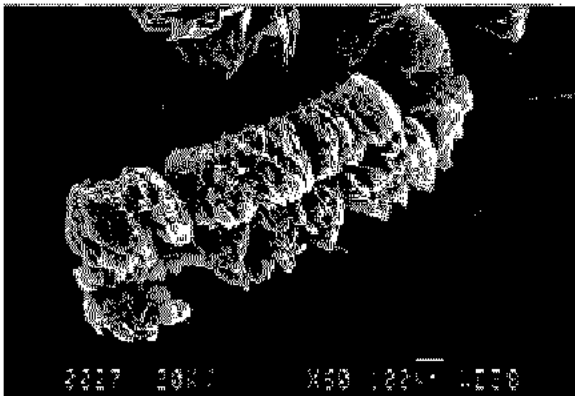


Fig. 3 SEM micrograph of Expanded graphites

Table 1 Specific weight test (g/cm<sup>3</sup>)

germany	china	specimen1	specimen2
0.96	0.93	1.81	1.90
0.94	0.92	1.79	1.91

2.2.2 경도

현재 시판되고 있는 팽창흑연에 의한 흑연 판재는 대부분이 내열 가스켓의 용도로 사용되며, 가스켓으로 사용할 경우 플렌지와의 접촉 등에 의하여 표면이 손상을 입게 될 수 있으므로 그 제품의 경도가 중요하게 된다. 그러나, 앞서 지적한 바와 같이, 현재 시판되는 흑연판재는 기술적인 문제로 인하여, 팽창흑연에 포함된 공기를 전부 제거하지 못하므로, 그 밀도가 낮고, 이에 따라 필연적으로 경도가 낮아지게 된다.

본 실험에서는 시판제품과 NGF법에 의한 흑연 성형품의 경도차이를 마이크로 비커스로 측정하여, 그 차이를 비교하여 보았다. 경도계는 AKASHI

(HM-122)를 사용하고, 측정하중은 25g으로, 시편 당 네 번을 측정하여, 시판제품의 경우는 최저치를, NGF법에 의한 시편은 최고치를 제외한, 평균치를 구하였다. Table 2는 경도실험 결과를 나타내고 있다.

경도실험 결과, Table 2에서 나타나는 것과 같이 NGF법에 의한 제품은, 시판제품보다 5~7배의 경도 차이를 보였고, 이는 NGF법에 의한 제품이 실제 사용 시, 흑연제품의 취급을 보다 용이하게 할 것으로 사료된다.

Table 2 Hardness test

germany	china	specimen1	specimen2
7.2	5.7	35	51.7
6.8	5.3	34.3	47.8

2.2.3 인장실험

시판흑연판재와 NGF법에 의한 성형품의 기본적인 기계적 물성을 비교하기위하여, 인장실험을 수행하였다. 시판제품의 시편은 Fig. 2 의 13B호 인장시편을, 호칭두께 3mm인 독일제와 중국제 판재로부터 절단하여 각 2개씩 제작하였다. NGF법에 의한 시편은, 금속무기염을 결합제로 하여 압축하중을 시편 1은 161.8 KN, 시편2는 294.2 KN으로 각각 2개씩 제작하고, 시편2는 한 쪽 면에, 길이방향으로 반경 3 mm, 깊이 0.3 mm의 홈을 5mm 간격으로 가지도록 제작하였다. 시편2의 두께는 시편 단면적으로 환산하였다. Table 3 은 각 인장 시편의 두께와 환산두께를 표시한 것이다.

Table 3 Thickness of specimens (mm)

germany	china	specimen1	specimen2
3.08	2.98	4.15	3.70
3.05	3.01	4.20	3.77

Fig. 4는 실험장비 사진을 나타낸 것이다. 본 실험에서는 490.3 N의 로드셀이 장착된, KOSMETIC KOREA 의 KOSMETM-500모델을 사용하였다. 인장 실험시 가능한 준정적상태를 유지하기 위하여 인장속도를 1mm/min의 속도로 인장시험 조건을 설정하였다.

인장실험결과를 Table 4에, 응력-변형량 곡선의 예를 Fig. 5에 나타내었다.

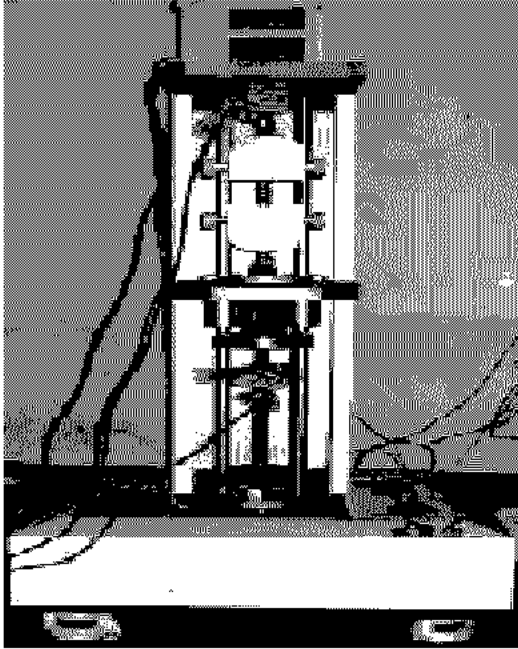


Fig. 4 Tensile test machine

Table 4 Tensile strength (MPa)

germany	china	specimen1	specimen2
3.98	3.38	3.67	7.07
3.88	3.04	3.59	7.04

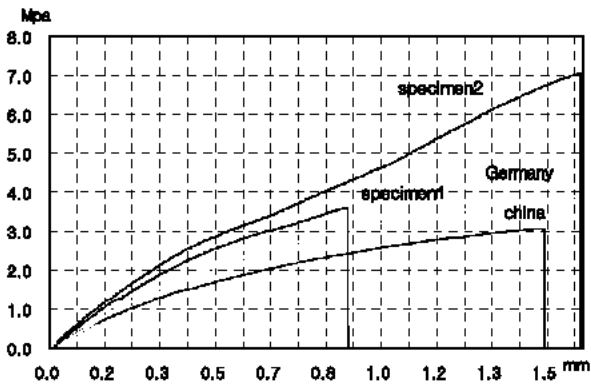
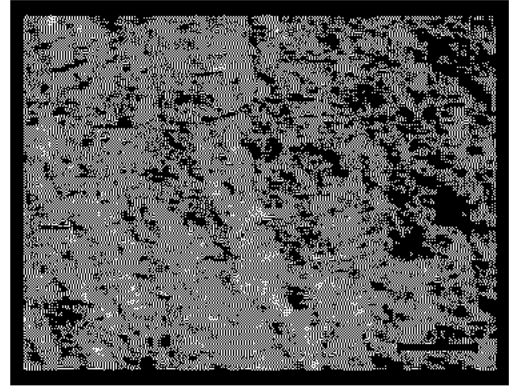


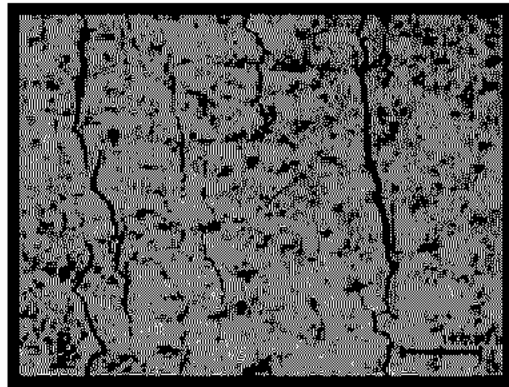
Fig. 5 Stress-stroke graph

인장시험결과에서, 시편2가 다른 시편들에 비하여, 매우 높은 인장강도를 나타내었는데, 이는 표면에 형성된 요철이 어떤 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 이는 NGF법에 의한 흑연성형품의 제조는 가공조건을 비교적 자유롭게 변경 가능하므로, 기존의 시판흑연판재들에 비하여, 그 물성을 향상시킬 수 있는 가능성이 많음을 나타내는 것이라 사료된다.

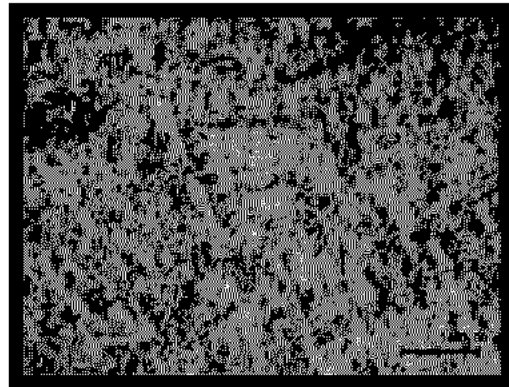
Fig. 6에 각각의 인장 시편의 조직사진의 예를 나타내었다. 조직은 파단부와 그립부의 영향을 제일



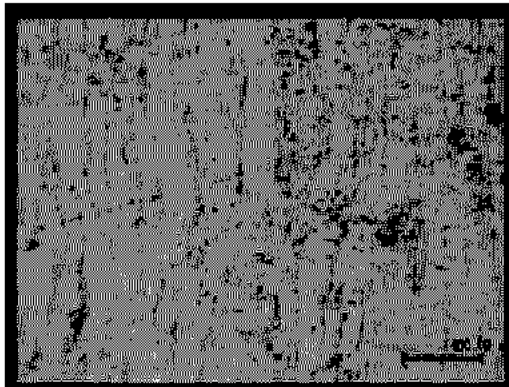
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6 Microscopic structures of specimens: (a)germany, (b)china, (c)specimen1 and (d)specimen2

적게 받는 시편의 라운드부와 그립부의 경계면의 시편의 횡단면의 조직사진을 찍었다. 흑연 가공품의 특성상, 매우 조직이 연하여 마운팅하는 것만으로는, 폴리싱에 의해 조직단면이 뭉그러지기 쉬우므로, 마운팅후 흑연 단면에 다시 수지를 침적시키고, 폴리싱하여 200배로 촬영하였다. 조직 사진을 보면, 시판제품은 독일제와 중국제 양쪽에서, 결에 따라 크랙이 다수 관찰되며, 독일제는 크랙이 매우 미세하다. 이는 연속압연에 의한 제품의 성형시에 내부의 공기층이 서로 연결되어 생긴 것으로 추정된다. 또한, 중국제의 경우는 독일제에 비하여, 크랙의 크기가 현저하게 크고 많음을 알 수 있다. NGF법에 의한 제품의 경우는, 양쪽시편에서 눈에 띄는 크랙은 관찰되지 않았다. 조직검사의 결과는 NGF법에 의한 제품의 조직이 시판제품보다 훨씬 치밀하다는 것을 보여주고 있고, 이는 비중량실험으로부터의 추정결과와 일치하고 있다.

### 3. 결 론

새로이 제안된 NGF 공법으로 제조된 고밀도 흑연재료에 대한 기계적 특성을 평가하기 위하여 시편제작, 비중량시험, 경도실험 및 인장시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 새로이 고안된 고밀도 흑연성형품 정형제조법(NGF method)으로, 원하는 형상의 인장시편을 제조하는 것이 가능하였고, 이는 흑연성형품의 정형가공이 가능할 수 있음을 보여준다.
- 2) NGF법으로 시판되고 있는 팽창흑연 시트들보다, 고밀도로 판단되는 팽창흑연 성형품을 제조할 수 있는 것으로 밝혀졌다.
- 3) NGF법에 의한, 성형품의 경도는 시판제품의 약 5~7배 정도로서, 시판제품보다 훨씬 경도가 높은 팽창흑연 성형품의 제작이 가능함을 보여주었다.
- 4) 인장강도 값은 시판품이 약 3~4 MPa, NGF법에 의한 제품이 약 3.5~7 MPa 정도로, NGF법은 적절한 가공조건을 구하면, 어느 정도 사용자가 필요로 하는 물성치를 부여할 수 있음을 보여 주었다.

본 연구의 결과로부터, NGF법으로 가공조건을 바꿈으로써 여러 가지 기계적물성을 부여하는 것이

가능하다는 것이 밝혀졌으며, 향후의 가공조건, 결합제등에 관한 최적화연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 炭素材料學會, 1998, “新炭素材料入門”, realize inc., 東京, pp105-110
2. 藤井祿, 土肥禎, 1986, “グラファイト層間化合物”, 近代編集社, 東京, p321
3. 대한민국 특허, 등록번호0329970호
4. 대한민국 특허출원번호 제2003-20202호
5. PCT/KR2004/000712