

고밀도 팽창흑연 성형품의 압축 특성에 관한 연구

A Study of Mechanical Properties in Compression on High density Graphite Products with Expanded Graphite

신 영 우
Y. W. Shin

Key Words : NGF(Net shaped Graphite product Forming)method, Compression test(압축시험)

Abstract : Graphite is well known as a material which has high temperature thermostable property, chemical resistance against acid and alkaline state also is very easy to environment. Nowadays the need of graphite product is increasing rapidly because of its advantages. In this paper, the mechanical property of newly developed graphite products with high density is investigated with especially in compression test. I introduced the graphite specimens for this study by NGF method with two expandable graphite and compared to the specimens of commercial graphite sheet from expanded graphite which made by the rolling process. I investigated the characteristics of these materials by measuring specific weight, hardness, compressive strength and investigating structures by SEM, It is verified that the graphite products with NGF method has superior properties for using gasket materials than that of commercial graphite sheet.

1. 서 론

흑연은 친환경적이며 가볍고 열충격에 강하며, 내열성, 내화학성이 뛰어나고 우수한 전기전도성, 열전도성 등의 특성이 있는 재료로 알려져 있다. 흑연의 이러한 특성들로 인하여 최근 흑연제품의 수요가 증가하고 있다. 그러나, 천연흑연은 매우 얇은 흑연의 층과 층이 전자로서 결합되어 있는 감마결합이라는 미약한 입체구조를 가지는 층상구조물이므로, 층과 층이 미끄러지기 쉬워서, 천연흑연의 상태로는 성형하기가 힘들다. 최근, 천연흑연의 층과 층 사이에 화학물질을 삽입시킨 흑연층간화합물(GICs: Graphite intercalation compounds)이 주목을 받고 있다. 흑연층간화합물(GICs)은 대부분이 급격히 가열하면, 흑연층간의 잔류화합물이 분해하면서 가스화되어 나가면서 흑연의 층과 층을 벌려 팽창시키게 된다. 잔류화합물을 황산, 초산등으로하는 흑연층간화합물(GICs)을 산처리흑연(expandable graphite)이라 한다. 산처리흑연을 고온에서 급격히 가열하면, 흑연의 층과 층 사이의 잔류화합물이 기화하면서 빠져나가 흑연은 c

축 방향으로 외견상 300~400배 까지 팽창하게된다¹⁾. 이렇게 하여 얻어진 흑연을 팽창흑연(expanded graphite)이라 하며, 매우 밀도가 낮으나, 팽창되어진 흑연은 더 이상 층과 층이 미끄러지는 일이 없이 성형이 가능하며, 프레스이나 롤링의 과정을 거쳐서, 가스켓용의 얇은 시트재를 만드는 원료로 이용되고 있다²⁾. 이렇게 만들어진 흑연시트는 최근의 석면가스켓의 사용제한에 따라 급격히 그 수요가 늘어나고 있으며, 그 생산량은 2000톤/년 이상이라고 알려져 있다³⁾.

현재의 팽창흑연을 이용한 흑연시트의 제조방법은, 팽창흑연이 초기밀도가 매우 낮고, 가공이 진행됨에 따라 내부의 공기가 밖으로 빠져나가기 어려워지므로 필요한 물성을 얻기 위하여, 공정 중 연속 압연공정을 도입하고 있다. 따라서 만들어지는 팽창흑연 성형품은 형상이 판재일 수밖에 없고, 시트형상이라도 만들 수 있는 두께에 제한이 있으며, 그 밀도나 강도에도 제작상의 한계가 있다. 시판되는 고온 가스켓용의 팽창흑연성형품 역시 전부가 시트재이다. 팽창흑연시트가 가지는 가공법상의 한계 때문에 이를 저압이고 소형인 경우에는 가스켓 형상으로 타발가공하여 사용하고, 대형이거나, 고압용에서는 금속재질로 보강하거나 부차가공을 하여 사용

접수일 : 2005년 12월 5일
 신영우(책임저자) : 여수대학교 냉동공학과
 E-mail : shin5381@yosu.ac.kr Tel. 061-659-3275

하고 있다. 또한, 대부분의 팽창흑연시트 제조사에서는 제품의 소개에서 인장강도만을 언급하고, 압축특성에 대하여서는 전혀 언급이 없는 실정이나, 가스켓용으로 사용하는 경우에는 압축특성이 매우 중요한 요소라 할 것이다.

본 연구자는, 팽창흑연을 이용하여, 고밀도 판상 흑연성형품 제조공정을 개발하였으며⁴⁾, 팽창흑연을 원료로 하는 다양한 형상의 정형가공이 가능한 고밀도 흑연성형품의 제조공정을 개발하여, 국제특허협력조약(PCT)으로부터 산업성이 있는 독자적 기술이라는 보고서를 받았고⁵⁾, 한국특허를 취득하였으며⁶⁾, 미국⁷⁾, EU⁸⁾, 영국⁹⁾, 중국¹⁰⁾, 일본, 캐나다에 특허를 출원중이다. 이번에 개발된 제조공정은 고밀도의 흑연제품의 정형가공이 가능할 뿐 아니라, 가공조건이나 사용결합재를 바꾸어, 흑연 성형품에 원하는 성질을 부여하는 것이 가능하므로, 흑연이 가지고 있는 장점인 내열성, 내화학성 및 높은 전기전도성, 열전도성등의 장점을 살리는 흑연성형품의 제작이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 일본의 에어워터케미컬사로부터 협조를 받아 특수 고온용 가스켓재로 개발하고 있는 금속무기염을 결합제로 사용한 NGF법에 의한 흑연 성형품의 물성을 압축강도를 중심으로 기존 팽창흑연제품의 것과 비교 검토하여, 그 특성을 살펴보았다.

2. 실험방법

2.1 시편 제조공정

2.1.1 팽창흑연과 플레이크의 제조

팽창흑연시트는 미국의 유니온 카바이드사, 독일의 SGI사의 것이 유명하고, 품질이 좋은 것으로 알려져 있으나, 중국에서도 많은 양이 생산되어 국내로도 많이 들어와 쓰여 지고 있다. 중국제와 SGI사의 팽창흑연시트는 값에서는 약 5배이나 그 내열성능에서는 많은 차이가 나는 것으로 보고되었다¹¹⁾. 본 연구에서는 팽창흑연의 원료인 산처리 흑연에 의한 압축성능의 차이를 비교해 보기 위하여, 일본 에어워터케미컬사로부터 무상 제공된 성적서가 있는 팽창배율 194배의 산처리 흑연과, 중국 산동성소재 영창흑연에서 구입한 성적서가 없는 팽창배율 200배의 중국산 산처리 흑연을 1000±50°C에서 30초간 팽창시켜, 팽창흑연을 제조한 후, 플레이크를 제조하였다. 참고로, 각 사의 산처리 흑연의 제시가격은 일본제는 kg당 약 5000원, 중국제는 kg당 약 1000원 이었다.

2.1.2 시편의 제조

NGF법은, 팽창흑연으로 고밀도의 플레이크상의 1차 성형품을 만들어 금형으로 원하는 형상의 제품을 제작하는 방법으로, 고밀도이면서 대부분의 필요형상을 만들 수 있으나, 성형제품은 필연적으로 다공성재료의 특징을 가지게 된다. 이런 이유로 가공속도가 빠르면 램의 관성과 제품의 반탄력에 의하여, 같은 가공조건인 제품을 제작하기가 힘들다. 본 연구에서 NGF법에 의한 시편의 제작에서는 램의 가공속도를 1mm/min의 저속으로 두어 비슷한 가공조건인 시편을 제작하고자 시도하였다.

본 연구에서 NGF법에 의한 시편은 금속무기염을 결합제로 하는 직경 35mm의 압축시편을 Fig. 1과 같이 제작하였다. 시편의 제작에는 490.33 kN의 로드셀을 장착한 KOSMETIC KOREA의 기계식만능재료시험기인 UT-30000H를 사용하였으며, 가공설정하중은 66.04 kN, 75.48 kN, 84.93 kN, 94.35 kN, 103.78 kN, 113.21 kN, 122.65 kN의 7가지로 하고, 가공속도는 1mm/min으로 일본제, 중국제의 흑연 플레이크로서 각 조건에서 3개 씩 모두 42개의 시편을 준비하였다.

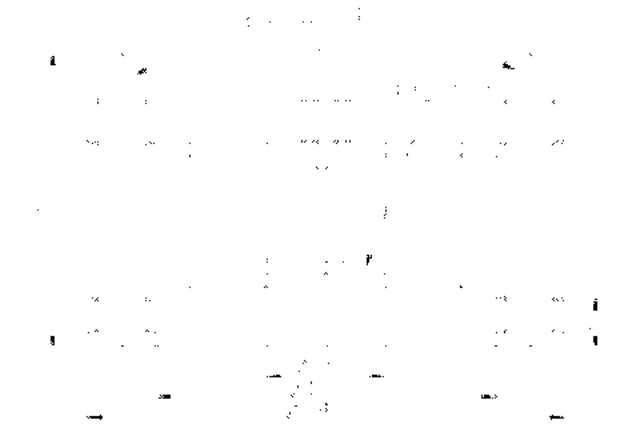


Fig. 1 Schematics of compression test specimen manufacturing by NGF method

시편 팽창흑연시트의 시편은 현재 시판되고 있는 압연판재 중, 성적서가 없는 호칭두께 3mm의 중국제 판재와, 동일한 호칭두께의 성적서와 판재의 시리얼넘버가 있는 독일 SGI카본그룹의 판재를 구입하여, 각 3개씩의 시편을 펀치와 핸드프레스로 타발하여 준비하였다. 준비된 시편은 시판판재 시편을 포함한 모든 시편을 시편연마용 폴리싱장치에서 2000번 샌드페이퍼로서 건식으로 상하면을 폴리싱하여, 평행도를 3/100이하로 만들어 실험에 사용하

였다. Fig. 2는 폴리싱전후의 NGF법에 의한 시편의 상태 예를 나타내고 있으며, 폴리싱 가공에 의하여 표면에 금속광택이 발생하였음을 보여준다.

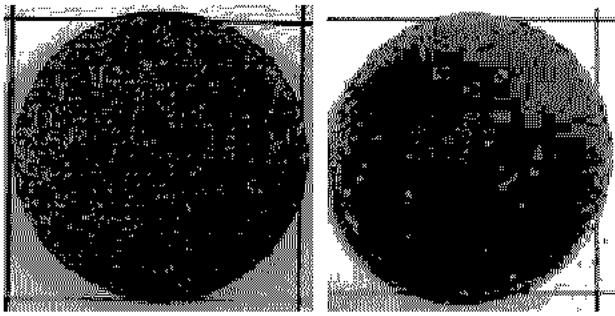


Fig. 2 Compression test specimen by NGF Method (left : before polishing, right: after polishing)

2.2 실험 및 고찰

2.2.1 비중량

현재 시판되고 있는 팽창흑연 성형판재의 제일 큰 약점은 낮은 밀도와 이에 따른 낮은 기계적 성질이라 할 것이다. 이는 원료인 팽창흑연이 본래 밀도가 매우 낮은 데에 기인하는 것으로서, 연속압연공정을 도입하더라도 팽창흑연이 가지고 있는 공기를 전부 배출시키지 못하고, 남은 공기는 성형품내부에서 미세한 공기층을 형성하며, 분포되게 된다. 이러한 이유로 시판되는 압연에 의한 팽창흑연 시트는 얇게 가공할수록, 그 밀도가 높아지게 된다. 따라서 일정 이상의 두께로는 필요한 밀도를 얻을 수 없으므로, 그 제작에 일정한 한계를 가지게 된다. 팽창흑연 성형품의 제조에는 회사마다 다른 결합제가 사용되고 있고 제품의 제조에 사용되는 결합제는 각 회사마다의 고유기술이므로, 시판제품의 결합제의 사용량을 측정 할 수 없어 비중량을 측정하여, 비교하는 것으로 하였다. NGF법으로 시판제품에 비하여 높은 비중량을 가지는 흑연성형품의 제조가 가능한 것으로 보고된바 있다¹²⁾. 이번 실험에서는 금속무기염을 결합제로 사용하는 NGF법에 의한 성형품을, 성형 가공속도를 1mm/min로 하여 제작하여, 직경 35mm인 시편을 2000번 샌드페이퍼로서 양면을 건식으로 폴리싱 가공하여, 각 시편의 두께를 네 방향에서 측정하여 평균하고, 무게를 측정하여, 각각의 비중량을 구하여 가공하중과의 관계를 조사하고, 시판제품의 것들과 비교하여 보았다.

Table 1과 Table 2는 각각 일본계 산처리 흑연으로부터 제작된 시편과 중국계 산처리 흑연으로 제

작된 시편의 설정가공하중, 실제 가공하중, 비중량을 나타내고 있다. Table 1과 Table 2에서 NGF법에 의한 시편은 압축하중이 증가함에 따라 조금씩 비중량이 높아지는 경향을 나타내고 있으며, 이는 NGF법이 분체가공의 일종이라는 것에 기인한다고 사료된다. Table 1과 Table 2에서 같은 설정하중으로 가공하였음에도, 일본계 산처리 흑연으로부터 만든 시편과 중국계 산처리 흑연으로부터 만든 시편은 비중량과 가공 종료시에 로드셀에 나타나는 최종가공하중이 약간의 차이를 보이고 있다. 비중량이 높을수록 제품의 반탄력이 커지므로, 로드셀에서 나타나는 하중값이 커지고 있다. 이는 산처리 흑연의 재료인 입상흑연의 종류, 불순물처리정도 및 산처리에 사용된 산의 종류나 상태에 따른 팽창흑연의 차이에 의한 것으로 사료된다. 참고로 일본에서는 산처리에 황산만을 사용하고 있으나, 중국에서는 혼합산을 쓰고 있는 것으로 알려지고 있다.

Table 1 Specific weights and load conditions of compression test specimens from Japanese expandable graphite by NGF method

No.	setting load (kN)	real load (kN)	specific weight (g/cm ³)
J1 1	66.04	70.77	1.80
J1 2	66.04	71.06	1.81
J1 3	66.04	70.95	1.80
J2 1	75.48	80.76	1.83
J2 2	75.48	81.59	1.84
J2 3	75.48	81.31	1.83
J3 1	84.93	90.14	1.85
J3 2	84.93	90.17	1.85
J3 3	84.93	90.39	1.84
J4 1	94.35	102.05	1.87
J4 2	94.35	101.37	1.88
J4 3	94.35	101.77	1.87
J5 1	103.78	111.43	1.89
J5 2	103.78	110.25	1.90
J5 3	103.78	110.45	1.89
J6 1	113.21	121.28	1.91
J6 2	113.21	121.80	1.90
J6 3	113.21	121.61	1.90
J7 1	122.65	132.06	1.90
J7 2	122.65	130.41	1.91
J7 3	122.65	131.41	1.90

Table 2 Specific weights and load conditions of compression test specimens from Chinese expandable graphite by NGF method

No.	setting load (kN)	real load (kN)	specific weight (g/cm ³)
C1 1	66.04	67.00	1.77
C1 2	66.04	67.10	1.77
C1 3	66.04	67.09	1.76
C2 1	75.48	76.53	1.78
C2 2	75.48	76.63	1.79
C2 3	75.48	76.52	1.79
C3 1	84.93	86.11	1.82
C3 2	84.93	86.14	1.80
C3 3	84.93	86.15	1.82
C4 1	94.35	101.14	1.85
C4 2	94.35	102.02	1.85
C4 3	94.35	101.22	1.85
C5 1	103.78	111.31	1.86
C5 2	103.78	109.96	1.86
C5 3	103.78	110.43	1.85
C6 1	113.21	119.51	1.88
C6 2	113.21	122.48	1.88
C6 3	113.21	120.63	1.88
C7 1	122.65	131.01	1.89
C7 2	122.65	130.60	1.89
C7 3	122.65	132.39	1.90

Table 3은 시판되는 독일제 팽창흑연 시트와 중국제 팽창흑연 시트에서 만들어진 압축시편의 비중량을 나타내고 있으며, 시판시트의 비중량 값은 1 g/cm³ 부근임을 알 수 있다.

Table 3 Specific weights of compression test specimens from commercial graphite sheet (G: Germany C: China)

No.	specific weight(g/cm ³)
G 1	0.99
G 2	0.99
G 3	1.01
C 1	1.03
C 2	1.02
C 3	1.03

Table 1과 Table 2, Table 3의 결과에서 NGF법에 의한 흑연성형품은 시판되는 흑연시트보다 70%~90% 정도 높은 비중량을 보이고 있으며, 이는 지난 번 시험의 결과와도 일치하고 있다¹²⁾.

Fig. 3은 같은 Table 1과 Table 2의 데이터를 평균하여 그린 가공하중-비중량 그래프이며, 하중이 증가함에 따라 비중량이 점차로 증가하고 있음을 보여준다.

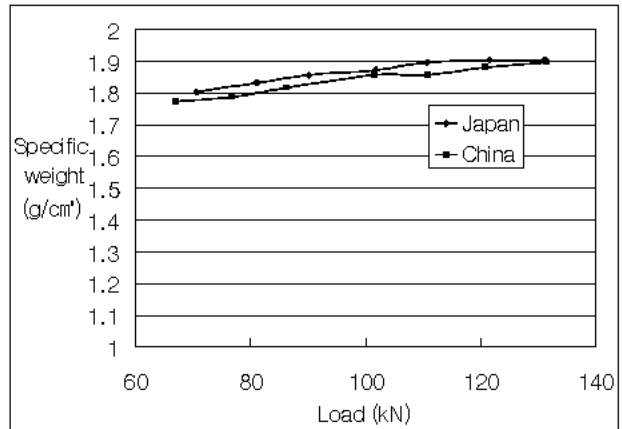


Fig. 3 Compression load-specific weight graph of compression test specimens by NGF method

2.2.2 경도

본 연구에서 사용된 NGF법에 의한 성형품은 특수 고온 가스켓 용으로 개발된 것이며, 현재 시판되고 있는 팽창흑연에 의한 흑연 판재도 대부분이 내열 가스켓의 용도로 사용된다. 재료를 가스켓으로 사용할 경우 플렌지와와의 접촉 등에 의하여 표면이 손상을 입게 될 수 있으므로 그 제품의 경도가 중요하게 된다. NGF법으로 시판제품보다 높은 경도의 흑연성형품을 제작하는 것이 가능하다는 것이 보고되었다¹²⁾.

본 실험에서는 NGF법에 의한 흑연 성형품의 경도를 마이크로 비커스로 측정하여 가공하중과 밀도와의 관계를 조사하여 보았다. 지난 실험에서는 압흔을 금속현미경으로 관찰하여 경도를 환산하는 방법을 사용하였으나¹²⁾, 본 실험에서는 보다 정확한 측정을 위하여, CCD카메라에 의한 자동 환산이 가능한 MATSUZAWA의 MMT-7을 사용하였다. 측정하중은 25g으로, 시편 당 5 번 이상을 측정하여, 시판품의 경우는 최저치를, NGF법에 의한 시험편은 최고치를 제외한, 평균치를 구하고자 하였다. 시판품의 경우, 경도가 매우 낮아 압흔이 명확하지 않은 경우가 있었으므로, 측정하중을 50g으로 하여서도 측정

하여 보았으나, 결과는 25g의 결과와 대동소이하었으므로 25g의 결과를 실었다. 또한, 중국계에서 내부 동공에 의한 것으로 추정되는 매우 낮은 경도 값을 보이는 경우가 있었다. NGF법에 의한 시편의 경우, 모든 시편에서 한 시편 내에서도 최대 30%정도의 비교적 큰 경도 차이를 보였고, 이는 비늘모양의 플레이크들이 서로 불규칙적으로 배열하여, 성형품의 방향성을 없애고 강도를 발휘할 수 있도록 설계한 NGF법의 가공방법의 특성 때문이라 사료된다⁶⁾.

Table 4는 Table 1과 Table 2의 각 가공조건에서의 평균가공하중과 평균비중량 및 경도실험 결과의 평균치, Table 3의 평균비중량 및 경도실험 결과의 평균치를 나타내고 있다. 참고로 전체 시편에서 일본계 산처리 흑연을 사용한 시편의 최대 경도값은 69.09 HV, 최소경도 값은 36.00 HV이었고, 중국계 산처리 흑연을 사용한 시편의 최대경도 값은 62.01 HV, 최소경도 값은 31.44 HV이었다. Table 4에서, 약간의 변화는 있으나 경도는 비중량의 증가와 더불어 점차로 증가하는 경향을 나타내었고, 일본계 산처리에 의한 플레이크로 제조한 시편의 경도가 중국계 산처리 흑연으로 제조한 시편의 경도 보다 크게 나타났다. NGF법에 의한 성형품은, 독일계와 비교하면시판 제품보다 6~10배의 경도를 가지고 있었다.

Table 4 Hardness test

No.	Load (kN)	Specific eight (g/cm ³)	Hardness (HV)
J 1	70.92	1.80	43.85
J 2	81.22	1.83	54.91
J 3	90.23	1.85	51.87
J 4	101.73	1.87	54.17
J 5	110.71	1.89	59.03
J 6	121.32	1.90	68.36
J 7	131.29	1.90	65.56
C 1	67.06	1.77	34.54
C 2	76.56	1.79	37.14
C 3	86.13	1.81	42.00
C 4	101.46	1.85	51.49
C 5	110.56	1.86	46.36
C 6	120.87	1.88	52.60
C 7	131.33	1.90	55.88
Germany		1.00	6.8
China		1.03	10.51

(J-: Japanese expandable graphite flake, C-: Chinese expandable graphite flake)

Fig. 4은 Table 4의 경도와 비중량의 관계를 그래프로 나타낸 것이다.

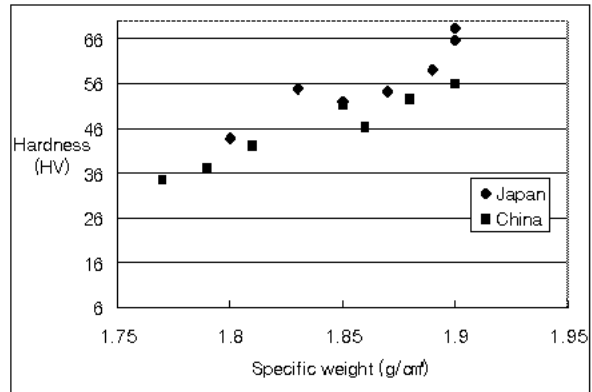


Fig. 4 Specific weight-hardness graph

2.2.3 압축실험

현재 시판되는 팽창흑연판재는 대부분이, 그대로 혹은 부차가공을 거쳐서 고온 가스켓용으로 사용되므로 제품의 압축특성은 중요한 특성이라 할 것이다. 그러나, 팽창흑연시트 제조사에서는 제품의 압축특성에 관한 자료가 거의 나와 있지 않은 실정이다. 또한, 본 연구에 사용된 금속무기염을 결합제로 하는 NGF법에 의한 성형품은 특수 고온용 가스켓 재료 개발된 것이므로, 고밀도이면서도 일반적 고밀도 흑연재료와 같이 취성을 가지는 것이 아니라, 압축하중에 저항할 수 있으면서 어느 정도 압축탄성을 가져야 할 필요가 있다. KS에서는 KS R 1088, KS M ISO 844, KS M 7063, KS M ISO 604, KS L 1203, KS M ISO 3597, KS D ISO 4506, KS D 8513, KS M3383, KS F 2206, KS F 2258-2등에서 여러 가지 재료의 압축시험에 대한 기준과 장치 및 방법이 규정되어 있으나, 흑연성형품에 대한 기준은 마련되어 있지 않다.



Fig. 5 Schematics of compression test device

본 연구에서는 KS R 1088의 장치를 원용하여, 압축시험 장치를 만들어 시험하였다. 압축시험에는 RND사의 10ton 기계식 만능재료시험기를 사용하였다. 시험속도는 준정적 상태를 유지하기위하여 0.5 mm/min로 시험하였다. Fig. 5는 압축시험장치 및 압축시험의 상태를 나타내고 있다.

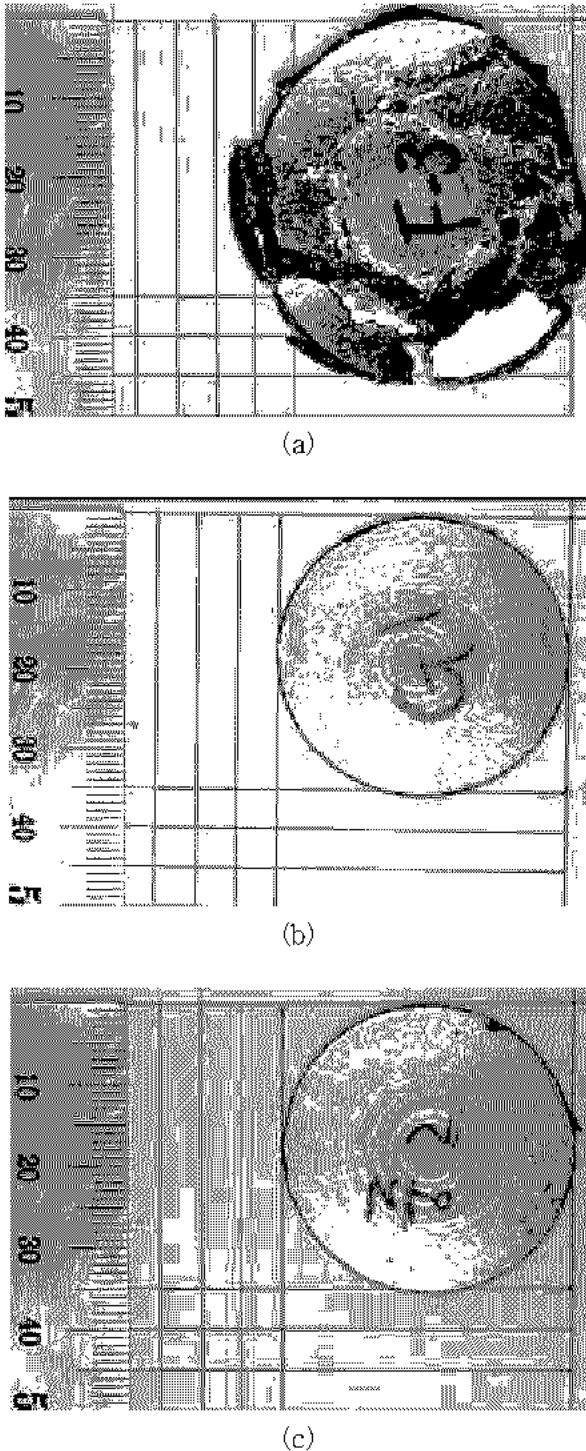


Fig. 6 Compression tested specimens (a)NGF method, (b)Germany (c)China

Fig. 6은 압축시험 후의 시편의 상태 예를 나타낸 것이다. NGF법에 의한 시편은 모든 시험에서 분명한 파괴상태를 볼 수 있었으나, 시판 흑연재료는 모두가 66%의 압축변형률에도 파괴되지 않았고 횡방향으로의 변형도 크지 않음을 알 수 있었다. 이는 시판재료의 경우에 밀도가 낮고 내부에 공간이 많으므로, 압축하중을 받으면, 내부공간이 먼저 없어지기 때문이라 사료된다. NGF법에 의한 시편은 모든 시편에서 압축파괴하중이 분명하게 나타났고, 압축파괴 시까지는 하중이 지속적으로 증가하고 있음을 보였으며, 모든 시편이 압축율 20% 이상의 성능을 보였다. 시판흑연재료의 경우는 초기에는 거의 압축하중에 저항하지 못하고 압축이 어느 정도 진행된 후부터 하중이 증가 하였다. 이는 시판흑연재료의 경우 압축초기에는 내부의공기가 빠져나가고, 어느 정도 압축이 진행된 상황에서부터 압축하중에 저항하기 시작하기 때문이라 사료된다. 또한 독일제 시편의 경우 중국제보다 낮은 비중량이나, 같은 압축율에서 중국제보다 높은 압축저항을 나타내었고, 이는 원료인 산처리 흑연, 팽창방법, 결합제, 가공조건 등의 차이로 사료된다.

Fig. 7는 압축시험에서의 압축응력-스트로크의 그래프의 예를 나타낸 것이다. NGF법의 경우는 압축파괴까지 제일 높은 압축변형율을 나타내는 시료와 제일 낮은 압축변형율을 나타내는 시료의 데이터를 나타낸 것이다.

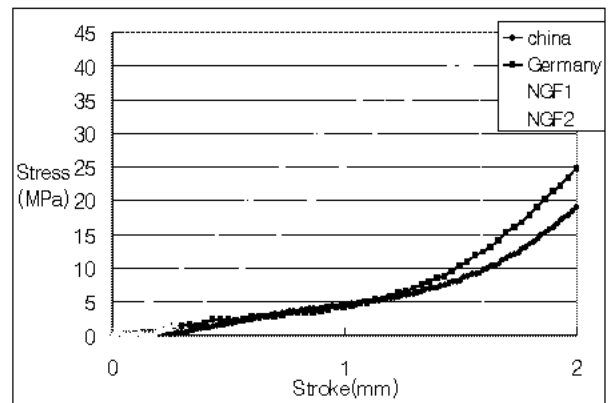


Fig. 7 Stress-stroke graph

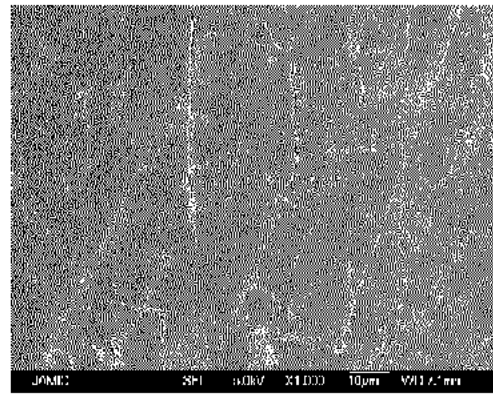
Table 5는 Table 1과 Table 2, Table 3의 시편들의 압축시험결과를 평균한 것이다. NGF법에 의한 시편들은 압축파단강도와 그 때까지의 압축변형율을 퍼센트로 나타내었고, 시판 흑연시트의 시편들은 파괴가 일어나지 않으므로, 66.6%의 압축변형율에서의 압축응력을 나타내었다. Table 5에서 NGF법

에 의한 시편의 압축강도는 비중량에 따라 약간의 차이는 보였으나, 가공설정하중 122.65 KN의 시편을 제외하면 대부분 그 편차가 10%이내로서 주목할 만한 차이는 찾을 수 없었다. 이는 NGF법에 의한 성형품은 NGF법이 비늘형의 고밀도 플레이크가 서로 불규칙하게 배열하면서 연결되어 강도 및 강성을 나타내도록 고안되었으므로, 그 강도나 강성이 일정 이상의 밀도에서는 결합체의 결합력과 고밀도 플레이크의 강도에 의하여 결정되는 때문이라 사료된다⁶⁾. 산처리흑연의 종류에 따른 특이한 차이점도 발견할 수 없었다. 또한 NGF법에 의한 시편은 파괴까지 모두 20%이상의 압축변형을 나타내어, 새로이 개발된 재료가 가스켓소재로서 필요한 어느 정도의 탄성과 압축저항력을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다. 참고로 전체시편 중 일본제 산처리흑연을 재료로 한 시편 중, 최대 및 최소 압축강도는 46.5 MPa와 36.04 MPa 이었고, 최대 및 최소 압축변형율은 28.4%와 20.2% 이었다. 중국제 산처리흑연을 재료로 한 시편 중, 최대 및 최소 압축강도는 46.69 MPa와 36.04 MPa 이었고, 최대 및 최소 압축변형율은 27.7%와 21.7% 이었다.

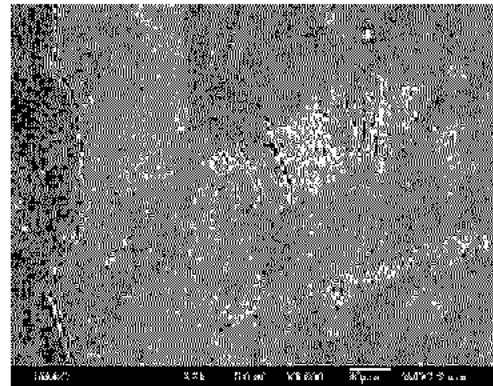
Table 5 Compression strength

No.	Specific weight (g/cm ³)	Compressive strength (MPa)	Compression ratio (%)
J-1	1.80	40.00	26.0
J-2	1.83	37.50	22.5
J-3	1.85	38.94	23.0
J-4	1.87	41.20	24.3
J-5	1.89	42.78	25.1
J-6	1.90	41.64	23.5
J-7	1.90	45.50	24.1
C-1	1.77	39.49	27.2
C-2	1.79	37.27	25.2
C-3	1.81	37.29	24.4
C-4	1.85	41.71	25.1
C-5	1.86	41.45	25.0
C-6	1.88	41.60	25.7
C-7	1.90	45.20	25.1
Germany	1.00	26.16	66.6
China	1.03	25.896	66.6

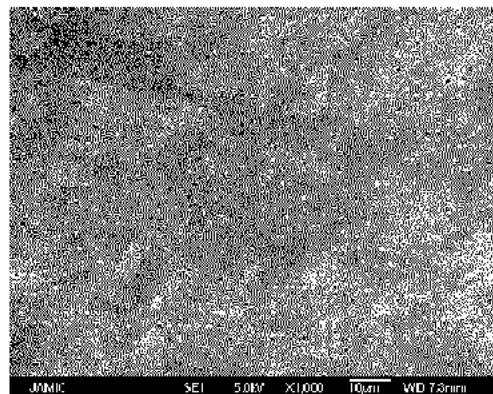
(J-: Japanese expandable graphite flake, C-: Chinese expandable graphite flake)



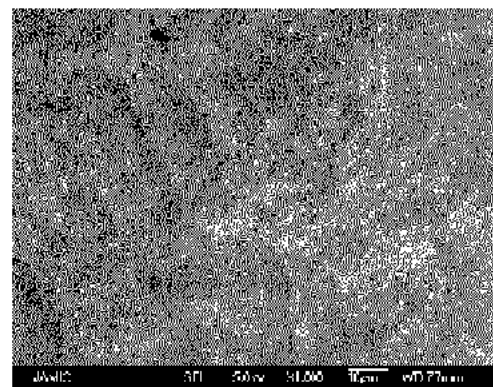
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 8 Microscopic structures of specimens : (a)germany, (b)china, (c)NGF 1.80 and (d)NGF 1.90

NGF법과 독일제 중국제 시편의 조직구조를 알아보기 위하여, 조직의 SEM사진을 찍어 보았다. 압축 시험의 특성상 실험이 끝난 재료로는 조직사진을 찍을수 없으므로, NGF법은 일본제 산처리 흑연으로 제작한 플레이크로 비중량 1.8 g/cm³과 비중량 1.9 g/cm³인 시편을 하나 씩 제작하여 마운팅하고면에 수직인 방향으로 절단 하였다. 독일제와 중국제는 보유하고 있는 팽창흑연시트 중 일부를 잘라내어 마운팅하고면에 수직인 방향으로 절단하여 조직사진 시편을 제작하였다. 사진시편의 제작은 흑연 가공품의 특성상, 매우 조직이 연하여 마운팅하는 것만으로는, 폴리싱에 의해 조직단면이 뭉그러지므로 마운팅후 표면을 연마하고 진공상태에서 흑연 단면에 다시 수지를 침투시키고, 폴리싱하여 FE-SEM사진을 찍었다. 사용된 FE-SEM 장치는 JEOL 5700이다. Fig. 8에 1000배로 촬영한 시편의 SEM사진을 나타내고 있다. SEM 사진을 보면, 시판제품은, 독일제는 미세한 크랙들이 압연가공방향이라 생각되는 방향으로 나타나고 있음을 볼 수 있으며, 중국제에서도 독일제 시편보다 많은 양의 방향성을 가지는 미세크랙을 다수 볼 수 있었다. NGF법에 의한 시편의 경우는 두 시편 모두에서 눈에 띄이는 방향성을 가지는 크랙은 발견할 수 없었고, 사진 중의 색깔이 현저하게 차이가 나는 부분에서 플레이크의 결합면으로 추정되는 경계면들이 발견되었고, 결합면은 색깔이 비슷한 부분에서도 관찰되었다. 색깔의 차이는 동일한 빛이 흑연층에 닿는 각도에 의한 것으로 추정되며, 이는 NGF법에서 플레이크가 방향성을 가지지 않고 서로 불규칙하게 배치되어 결합하고 있는 것을 보여주는 것으로 사료된다. 또한 사진 상에 불순물로 추정되는 미세한 입자도 발견되었다.

3. 결 론

특수 고온 가스켓용으로 개발된 금속무기염을 결합제로 하는 NGF 법으로 제조된 고밀도 흑연재료에 대한 특성을 평가하기 위하여 비중량시험, 경도 실험 및 압축시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 새로이 개발된 NGF법에 의한 특수 고온 가스켓용 흑연 성형품은, 자체만으로 압축강도 35 MPa 이상, 압축 변형 파단을 20%이상의 성능을 나타내어, 플렌지 볼트의 압축하중에 저항할 수 있으

면서 탄성에 의한 누설방지를 필요로 하는 가스켓 재료로서의 요건을 어느 정도 충족하고 있음이 밝혀졌다.

- 2) 새로이 개발된 NGF법에 의한 특수 고온 가스켓용 흑연 성형품은, 현재 시판되고 있는 가스켓용 팽창흑연 시트들보다, 압축저항능력이 매우 높고, 높은 경도를 나타내어 가스켓용 재료로서 보다 적합할 것으로 판단되었다.
- 3) 산처리 흑연의 종류에 따른 NGF법에 의한 성형품의 기계적 특성 차이는 그리 크지 않았다.

본 연구의 결과로부터, 새로이 개발된 NGF법에 의한 특수 고온 가스켓용 흑연 성형품이 가스켓용 재질에 필요한 기계적 물성을 어느 정도 충족하고 있다는 것이 밝혀졌으며, 향후 성형품의 성능향상을 위한 팽창흑연 및 플레이크의 제조방법, 결합제 및 성형품의 보강방법 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 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, p330
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. 炭素材料學會, 1998, “新炭素材料入門”, realize inc., 東京, p167
4. 대한민국 특허, 제 329970호
5. PCT/KR2004/000712
6. 대한민국 특허, 제 0518949호
7. 미국 특허출원번호 10-508016
8. EU 특허출원번호 04724208.6
9. 영국 특허출원번호 0518041.9
10. 중국 특허출원번호 087572
11. 신영우, 2005, “고밀도 팽창흑연 성형품의 내열 특성에 관한 연구(1)” 한국동력기계공학회,
12. 신영우, 2005, “고밀도 팽창흑연 성형품의 기계적특성에 관한 연구(1)” 한국동력기계공학회,