

니켈-흑연복합분말의 흑연코어 기화거동에 관한 연구

윤기병 · 김동진* · 정현생*

인천대학교 재료공학과

*한국자원연구소 재료공정연구그룹

Gasification of Graphite Core from Ni-coated Graphite Composite Powder

Ki Byoung Youn, Dong Jin Kim*, and Hun Saeng Chung*

*Material Processing Research Group, Korea

Dept of Materials Engineering, Inchun Univ., Korea.

초 록 : 본 연구에서는 다공성 니켈재료의 원료분말로 활용될 수 있는 hollow니켈금속분말 제조를 위한 니켈-흑연복합분말의 흑연코어 기화과정에 관하여 실험을 행하였다. 수증기-수소 혼합가스에 의한 복합분말중 흑연코어의 기화온도는 800°C~900°C였으며, 약 1시간의 기화반응에 의해 내부가 텅 빈 hollow니켈금속분말을 얻을 수 있었다. 흑연코어의 평균입도가 21 μ m인 82.2wt.% 니켈-17.8wt.% 흑연 복합분말로부터 제조된 hollow니켈금속분말을 1000kg/cm²의 압력으로 압축, 성형한 성형체의 겉보기 기공도는 45%이었으며, 이 성형체를 진공로에서 1150°C의 온도로 1시간 소결하여 30%의 기공도와 소재내에 균질한 기공분포를 갖는 소결체를 얻음으로써 다공성재료 제조시 hollow분말을 원료로 사용하여 재료 내의 기공에 관한 제반사항을 쉽게 조절할 수 있다는 가능성을 확인하였다.

Abstract : In this work, gasification of graphite cores from nickel-coated graphite composite powders was carried out to manufacture the hollow nickel metal powders which can be used as a raw materials for porous nickel metal strips. Graphite cores were gasified by H₂O-H₂ mixture gases at the temperature between 800°C and 900°C and nearly all removed from the composite powders within 1 hour. The hollow nickel metal powders prepared from 82.2wt.% Ni-17.8wt.% C composite powders which have the graphite cores of 21 μ m average size were pressed and sintered at 1150°C for 1 hour in vacuum furnace. The porosities of green and sintered compacts were 45% and 30%, respectively, and pores were distributed very homogeneously in the sintered compact. It was confirmed that pore distribution and porosity in porous materials can be easily controlled by using hollow powders as a raw materials.

1. 서 론

복합분말은 금속 또는 비금속분말에 다른 성분의 원소 또는 화합물이 균질하게 코팅된 분말로써 합금제조시 산화되기 쉬운 원소를 보호하고, 재료내의 편석을 방지하며 또한 세라믹이나 흑연 등의 비금속입자들도 모재에 쉽게 분산시킬 수 있는 장점등을 가지고 있어 자동차, 항공, 전자산업소재의 원료분말로 널리 사용되고 있다^{1,2,3}). 이러한 복합분말중 금속-흑연복합분말은 흑연입자 위에 금속을 균질하게 코팅한 분말로써 항공기 터빈엔진의 abrasible sealing소재, 전자파 차폐소재, 무급유 베어링소재 등의 원료분말로 사용되고 있

으며 흑연입자가 분산된 피스톤실린더용 알루미늄합금 제조에도 이용되는 등 그 용도가 다양하여⁴) 국내산업의 발달에 따라 향후 그 소모량이 크게 증가할 전망이다. 한편 금속-흑연복합분말의 또 다른 중요한 응용분야는 최근 큰 관심하에 연구개발이 진행되고 있는 연료전지용 전극재료 등의 다공성재료 분야이다. 연료전지로부터 큰 전류밀도를 얻기 위해서는 전극재료 내부를 통한 반응 및 생성가스의 공급과 방출이 신속히 일어나야 하므로 다공성전극재료가 필수적으로 요구되며 기공크기, 기공분포 및 기공도 등이 전극재료의 중요한 선택인자가 된다. 현재 전기 전도도 및 연료불순물(주로 유황)에 의한 내식성 등을

고려할 때 가장 주목받는 전극재료는 니켈을 기본으로 하는 다공성재료이다. 이러한 전극재료는 일반적으로 니켈금속분말에 결합제, 발포제 등의 첨가제를 넣고 혼합한 후 성형, 소결하여 제조하고 있으나 이러한 방법은 기공의 크기, 기공의 분포도, 기공도 등의 조절이 쉽지 않고 따라서 재료의 재현성 및 신뢰성도 크지 않은 단점이 있다. 니켈-흑연복합분말의 흑연코어를 수증기-수소 또는 이산화탄소-수소 혼합가스로 기화, 제거시키면 분말내부가 텅 빈 hollow니켈금속분말을 얻을 수 있으며 니켈-흑연복합분말의 흑연코어 입도를 선택함에 따라 hollow니켈금속분말의 내부기공의 크기를 조절할 수 있다. 따라서 이러한 hollow금속(또는 산화물) 분말을 다공성 전극재료의 원료분말로 사용하면 전극재료 내의 기공크기, 분포, 기공도 등을 쉽게 선택, 조절할 수 있다. 이와같은 기공의 제반사항에 대한 조절기술은 전극재료 뿐만아니라 분리막 재료, 가스저장 및 분사재료, 물질흡착재료,

방음재료 등의 제조 및 개발에 중요한 기술로 응용될 수 있다.

본 연구에서는 니켈-흑연복합분말의 흑연코어입자를 수증기-수소 혼합가스로 기화, 제거시켜 hollow니켈금속분말 제조시 흑연코어 입자의 기화거동 및 니켈금속층의 형상변화를 조사, 검토하였다. 또한 다공성 재료내의 기공에 관한 제반사항들을 쉽게 조절할 수 있는 가능성을 확인하기 위하여 평균입도 $21\mu\text{m}$ 인 흑연코어를 가진 니켈-흑연복합분말로 부터 제조된 hollow니켈금속분말들을 성형, 소결하여 소결체 내의 기공크기, 기공분포상태, 기공도 등을 조사, 검토하였다.

2. 실험 방법

Hollow니켈금속분말의 원료인 니켈-흑연복합분말은 가압수소환원법에 의해 제조하였으며, 본 실험에 사용된 니켈-흑연복합분말의 화학조성 및 흑연코어입자의 평균입도는 Table 1에 나타내었다. 니켈 및 흑연의 wt. %

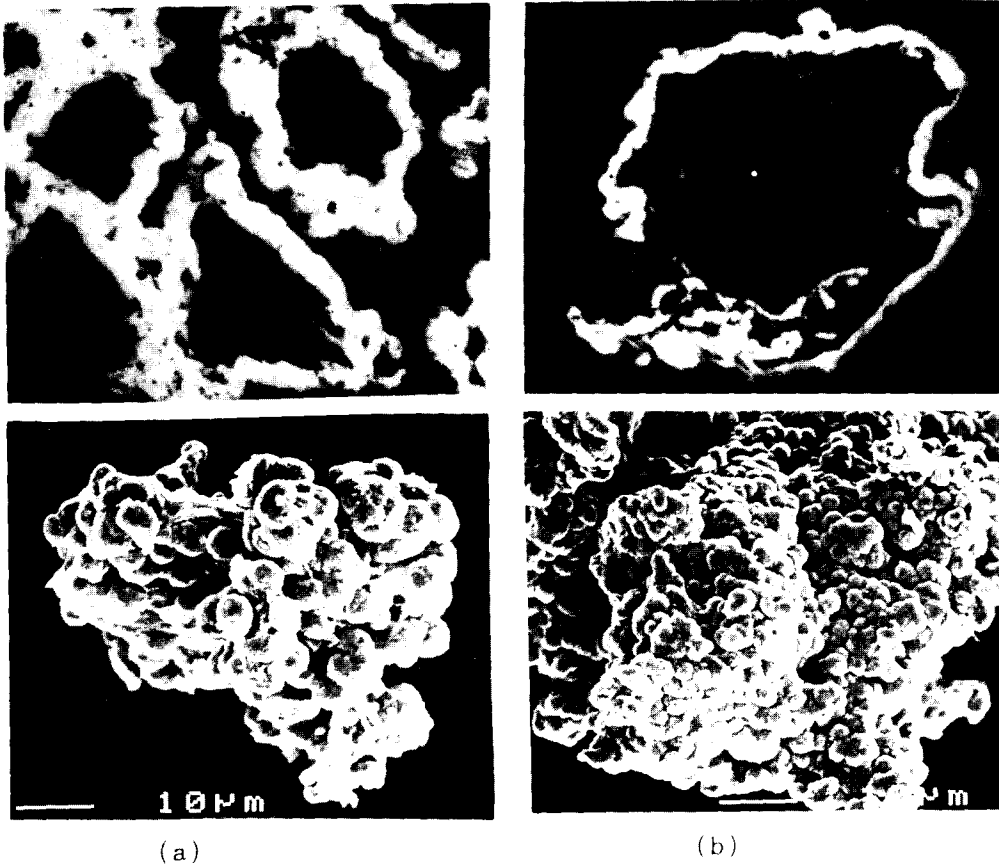


Fig. 1. Samples(A : $21\mu\text{m}$ core, B : $67\mu\text{m}$ core)($\times 800$, $\times 1000$)

Table 1. Chemical compositions and average core sizes of nickel-coated composite powders.

시료	번호	흑연코어 평균입도 (μm)	조성			
			Ni		C	
			wt. %	vol %	wt. %	vol %
Ni- Graphite 복합분말	A	21	82.2	53	17.8	47
	B	67	68.7	35	31.3	65

는 화학분석에 의하여 얻었으며 vol%는 복합분말중의 니켈 및 흑연 모두 이론밀도를 가진다고 가정하여 wt.%의 조성비 및 흑연의 평균입도 값으로부터 계산한 수치이다. 현재 연료전지용 전극으로 사용되고 있는 재료들은 일반적으로 20~80% 정도의 기공도가 요구되므로 본 연구에서는 이러한 재료의 원료분말로 활용될 수 있는 hollow니켈금속분말의 제조를 위해서 복합분말 중 흑연코어가 차지하는 부피가 40%~70%사이인 니켈-흑연복합분말을 시료로 선택하였다.

Fig. 1의 (a), (b)는 각각 시료분말 (A) 및 (B)의 표면 및 단면 관찰사진이다.

Fig. 2는 니켈-흑연복합분말로부터 hollow니켈금속분말을 제조하기 위한 실험장치를 나타낸 것이며 흑연코어의 기화, 제거를 위해 수증기-수소 혼합가스를 사용하였다. 니켈-흑연복합분말 시료를 정확히 칭량하여 알루미늄나 보트에 얇게 깔아 석영반응관의 중심부에 장입한 후 반응관 내로 질소-수소 혼합가스(200ml/min N_2 -100ml/min H_2)를 통과시키면서 반응온도까지 가열하였다. 반응온도에

달하면 질소가스 대신 수증기를 통과시킴으로써 수증기-수소 혼합가스에 의한 흑연코어의 기화반응이 시작되며 이 때를 반응시작시간으로 하였다. 본 실험에서는 2 l/min H_2O -100 ml/min H_2 의 혼합가스만을 사용하였으며, 일정시간 반응후 수증기 밸브를 잠그고 다시 질소-수소 혼합가스를 통과시키며 상온까지 냉각시켰다. 얻어진 반응산물들의 무게를 측정하여 기화반응율을 계산하였고, 화학분석, X-선 회절분석, 입도분석, SEM 및 광학현미경 관찰도 행하였다.

흑연코어가 완전히 기화, 제거된 hollow니켈금속분말은 1000Kg/cm²의 압력으로 성형한 후 진공로에서 1150°C의 온도로 1시간 소결하였으며 성형체 및 소결체의 기공도, 기공크기, 분포상태 등을 측정, 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 수증기-수소 혼합가스에 의한 흑연코어의 기화

수증기-수소 혼합가스 사용시 니켈-흑연복합분말중 흑연코어의 기화에 대한 반응온도의 영향을 조사하기 위하여 725°C부터 925°C까지의 온도범위에서 50°C 간격으로 반응온도를 선택하여 기화실험을 행하였다. Table 2는 복합분말 시료(A)를 각 반응온도에서 수증기-수소 혼합가스로 60분간 기화시켰을때 시료의 무게감량을 측정하여 계산한 흑연코어의 기화율이다.

반응온도 725°C 및 775°C의 경우 기화반응

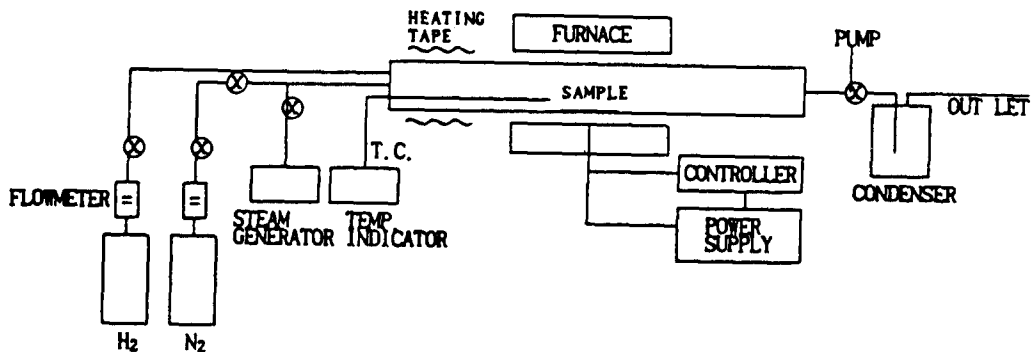


Fig. 2. Experimental apparatus.

Table 2. Gasification % of graphite core.

시 료	반응온도(°C)	기화반응율(%)
Ni-coated	725	17.5
graphite	775	57.0
composite	825	97.4
powder(A)	875	99.9
	925	73.0

율은 60% 이하로 기화반응속도가 매우 느리며, 825°C 및 875°C의 온도에서 적당한 반응속도를 얻을 수 있었다. 그러나 900°C 이상의 온도에서는 니켈 코팅층의 소결현상에 의해 복합분말입자들이 서로 엉겨붙게 되어 확산에 의한 반응 및 생성가스의 공급과 방출이 어렵게 되어 기화반응율은 감소한다.

Fig. 3 및 4는 각 반응온도에서의 반응산물들에 대한 X-선회절분석결과 및 반응산물 단면의 현미경 관찰사진이다. X-선회절분석 곡선에서는 흑연과 니켈의 피크들을 관찰할 수 있으며 기화반응온도에 따른 복합분말중 흑연의 감소경향은 2θ 가 26.60° 에서 나타나는

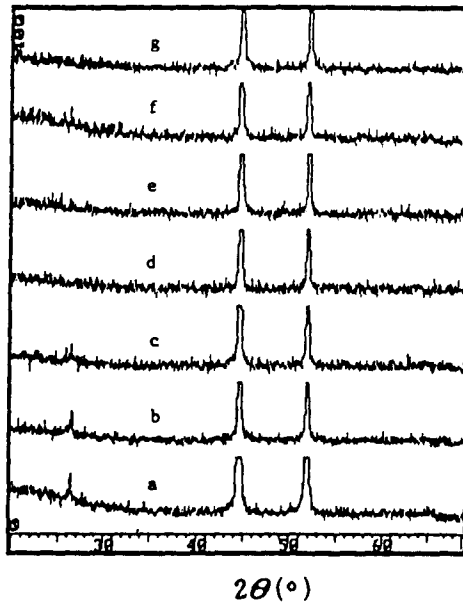


Fig. 3. X-ray diffraction curves for composite powders gasified for 60 minutes at various temperatures(a : sample, b : 725°C, c : 775°C, d : 825°C, e : 875°C, f : 925°C and g : 2hrs gasification at 825°C)

흑연피크들의 강도변화를 관찰함으로써 알 수 있다. 또한 반응산물의 단면관찰을 통하여 775°C의 반응온도까지는 미반응흑연코어를 뚜렷히 볼 수 있으며 825°C 및 875°C 온도에서는 흑연코어가 거의 전부 기화, 제거되어 속이 텅 빈 hollow니켈금속분말을 관찰할 수 있다.

이상의 결과로부터 수증기-수소 혼합가스에 의한 니켈-흑연복합분말중 흑연코어의 기화반응에 적당한 온도는 800°C-900°C 정도임을 알 수 있다. 일반적으로 900°C 이하의 온도범위에서는 탄소-수증기 간의 기화반응속도는 매우 느린 것으로 알려져 있다. 그러나 수증기 또는 이산화탄소에 의한 기화반응에서 어떤 금속 또는 무기물 등은 기화반응의 촉매 역할을 할 수 있으며 이러한 촉매제가 관여된 기화반응을 "catalytic gasification"이라 한다^{5, 6)}. 니켈-흑연복합분말중 흑연코어의 기화시 900°C 이하의 낮은 온도에서 적당한 기화반응속도를 얻을 수 있는 것은 니켈금속에 의한 촉매효과 때문에 catalytic gasification이 일어나기 때문이다.

Fig. 5 및 6은 825°C의 반응온도에서 기화반응시간을 변화하여 얻은 산물들의 X-선회절 분석결과 및 기화반응율을 나타내고 있다. 이 실험에서는 니켈-흑연복합분말중 흑연코어의 기화과정시 일어나는 흑연코어 및 니켈층의 형상변화를 자세히 알아보기 위하여 흑연코어의 입도가 큰 복합분말(시료 B)을 시료로 사용하였다. X-선회절 분석결과 흑연에 해당하는 피크($2\theta=26.60^\circ$)만의 변화를 나타내었으며 반응시간이 증가함에 따라 복합분말중의 흑연은 감소하므로 피크의 강도는 감소하고 있으며 반응시간 60분에 도달하면 흑연 피크는 관찰되지 않고 있어 대부분의 흑연코어가 기화, 제거되었음을 알 수 있다. 반응시간에 따른 반응산물의 무게측정에 의해 얻어진 기화율을 보면 흑연코어의 기화반응은 반응시작과 동시에 급격히 진행되어 반응시간 5분 이내에 이미 60% 이상의 흑연코어가 기화, 제거되고 있으며, 반응시간 60분에 도달하면 흑연코어의 약 98%가 제거됨으로써 내부가 텅 빈 hollow니켈금속분말이 형성된다. 한편 니켈-흑연 복합분말중 흑연코어는 반응시간이 제로인 순간, 즉 질소-수소 혼합가스

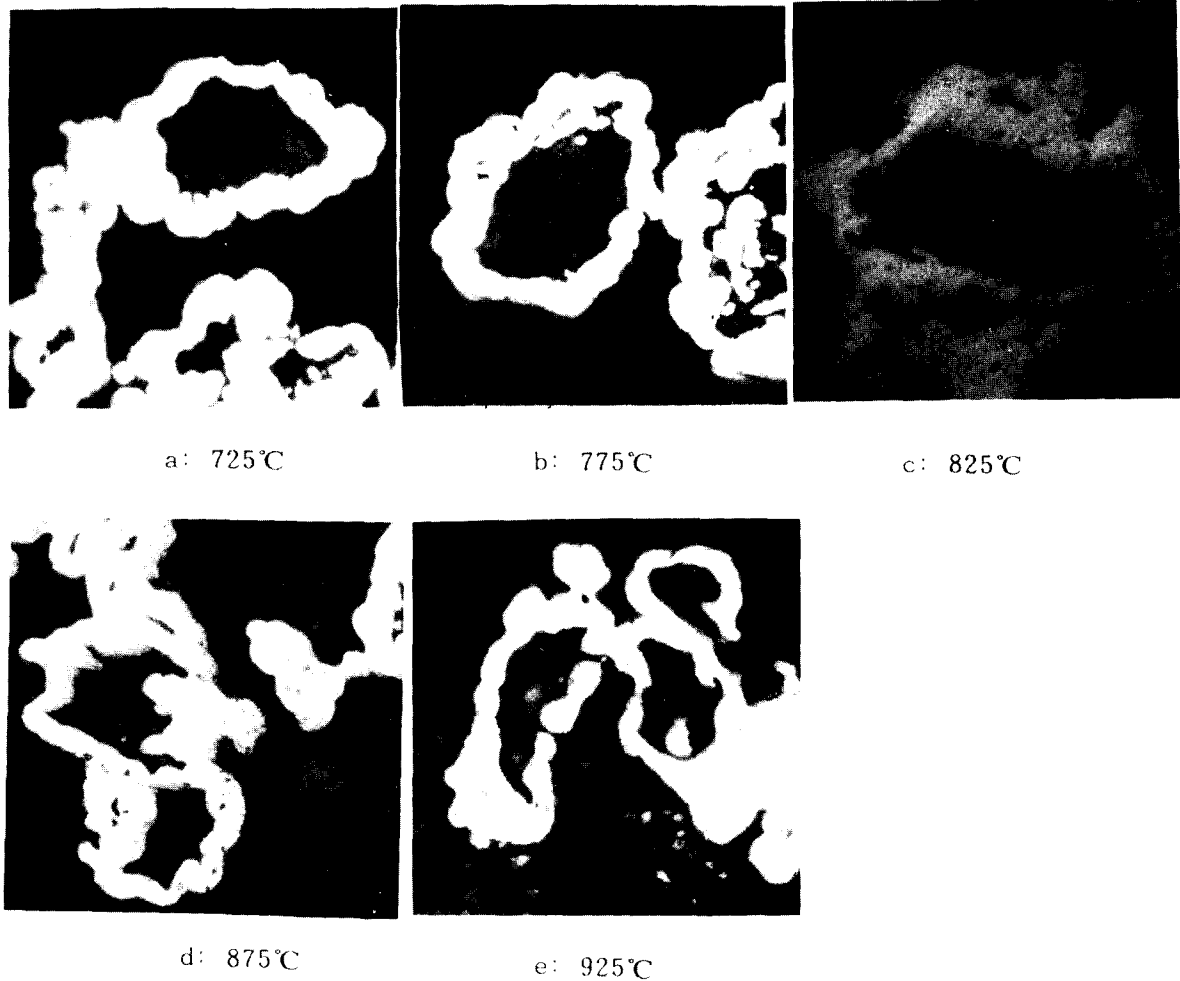


Fig 4. Cross sections of reacted powders gasified for 60 minutes at various temperatures ($\times 800$)

를 통과시키며 가열하여 시료가 반응온도에 도달하였을 때에 이미 약 10%가 기화, 제거되었음이 관찰되었다. 그러나 복합분말 시료 대신에 코어로 사용한 흑연분말만을 시료로 택하여 같은 실험을 행하였을 때는 반응시간이 제로인 순간에서 흑연의 기화율은 0.8%에 불과한 결과를 얻었으며 이러한 결과로부터 니켈-흑연복합분말의 경우, 니켈의 존재 때문에 catalytic gasification 반응이 일어나 분말입자들 사이에 trap된 공기에 의해 흑연코어가 쉽게 기화되고 있음을 알 수 있다.

또한 니켈-흑연복합분말 시료의 catalytic gasification 현상은 흑연-수증기 간의 기화반응에서도 확인되었다. 즉 수증기에 의한 기화반응시 반응시간 30분에서 흑연분말 시료의

경우 기화율은 약 4% 정도에 불과하였으나 니켈-흑연분말의 경우 흑연코어의 기화율은 85%에 달하고 있어 니켈에 의한 촉매효과 때문에 catalytic gasification 반응이 일어나 반응속도가 약 20배 이상 빨라지고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 수증기와 활성탄 간의 기화반응에서 니켈이 4.8wt.% 존재시 니켈이 전혀 존재하지 않는 경우에 비해 반응속도가 750°C에서 2배, 950°C에서 약 9배 정도 빨라진다는 Shirasagi, C의 연구결과와⁷⁾ 비교되며 본 실험에서 20배 이상의 빠른 기화반응 속도를 얻은 것은 사용한 시료가 니켈이 흑연분말표면에 균질하게 코팅된 복합분말로 흑연의 단위부게 당 니켈과 접촉하는 면적이 니켈과 흑연의 혼합분말 경우보다 훨씬 더 크

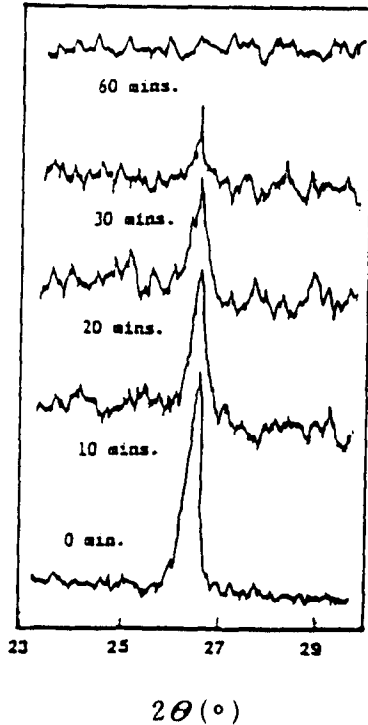


Fig 5. X-ray diffraction curves for composite powders gasified with various reaction times at 825°C.

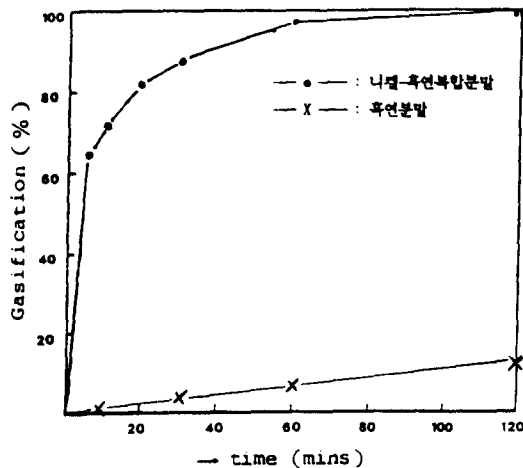


Fig 6. Gasification % of graphite core of composite powders and graphite powder with reaction times.

기 때문에 설명될 수 있다. Fig. 7은 기화반응시간에 따른 반응산물의 단면 및 표면을 광학현미경 및 SEM 관찰한 사진이다.

사진으로 관찰된 결과와 Fig. 6의 기화율에 대한 결과를 비교, 검토하여 보면 수증기에 의한 니켈-흑연복합분말중 흑연코어의 기화반응은 다음과 같이 진행된다고 생각할 수 있다. 우선, 시료로 사용된 복합분말의 SEM 관찰 표면사진을 보면 흑연코어 표면중 니켈이 코팅되지 않고 외부로 노출되어 마치 확산분출구와 같은 형상을 하고 있는 부분들을 관찰할 수 있다. 반응초기단계에서는 이와같이 외부로 노출되어 있는 흑연표면이 반응가스인 수증기와 우선 접촉할 수 있으나 앞에서 니켈-흑연복합분말이 아닌 흑연분말만의 기화실험을 통해 알아본 바와 같이 니켈이 존재하지 않는 흑연표면에서의 기화속도는 800~900°C 정도의 낮은 온도에서는 매우 느리므로 반응초기단계에서 복합분말의 흑연기화반응은 주로 흑연코어와 니켈층의 접촉부분에서 catalytic gasification에 의해 진행되며 반응표면적도 반응초기에 가장 크므로 이 단계에서의 기화반응속도는 매우 빠르다. 반응시간 5분 및 10분인 경우 반응산물에 대한 단면사진을 보면 주로 니켈층과 흑연코어의 계면에서부터 흑연이 기화, 제거되고 있음을 볼 수 있다. 한편 반응시간 20분인 경우 어떤 입자는 흑연코어가 완전히 기화, 제거되어 hollow니켈금속분말이 생성되고 있으나 분말입자 내부에 미반응 흑연코어가 일부 남아있는 분말 및 대부분의 흑연코어가 그대로 남아있는 분말도 관찰되었다. 이러한 결과로부터 복합분말 각각의 입자들에 대한 기화속도는 흑연코어를 둘러싸고 있는 니켈층의 상태에 크게 의존함을 알 수 있으며 아주 치밀한 니켈층을 갖는 복합분말 입자는 반응가스인 수증기가 니켈층을 통하여 흑연표면까지 확산, 공급되기 힘들며 또한 기화반응에 의하여 생성된 일산화탄소 등이 방출되기 어려우므로 기화반응속도는 상당히 낮아지게 된다.

반응초기단계에서 복합분말중, 니켈층의 형상변화는 거의 없으나 기화반응이 계속 진행되면 흑연코어가 기화, 제거됨에 따라 분말내부에 동공이 형성되기 시작하며 반응생성가스에 의한 분압때문에 이의 방출을 위해 니켈층에 micropore가 생성되기 시작한다. 이러한 반응단계가 되면 흑연코어 표면에서 반응 및 생성가스에 대한 조성이 반응초기단계와 크게

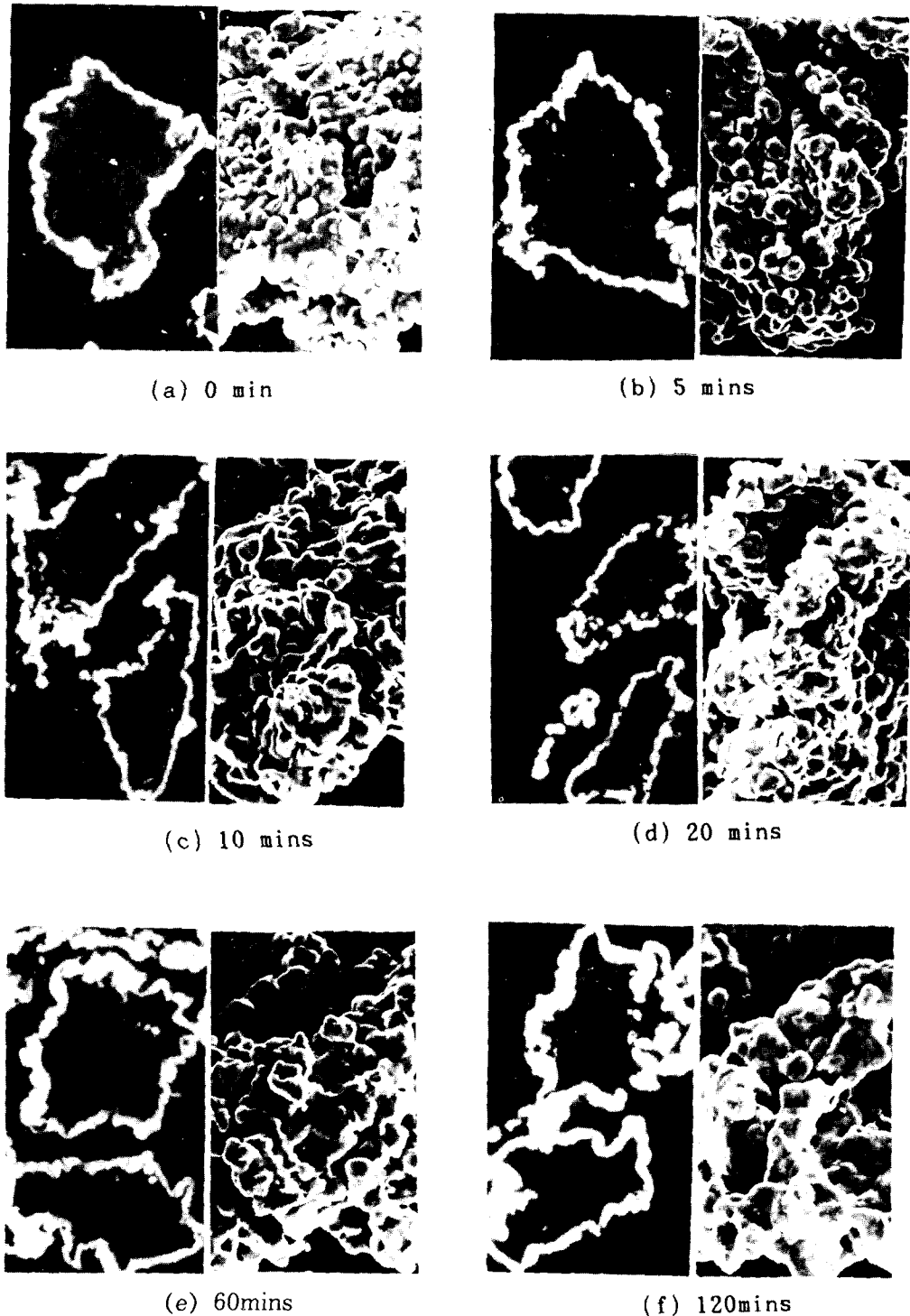


Fig 7. Composite powders gasified at 825°C for various gasification reaction times ($\times 400$, $\times 1000$)

다르게 되고 반응표면적 및 active site의 수도 감소하므로 기화반응속도는 현격히 떨어진다. 수증기-흑연 간의 반응에 의하여 일산화탄소

와 수소를 생성하는 기화반응은 흡열반응이다 ($\Delta H_{298, 15K}^0 = 31.38 \text{Kcal/mol}$). 따라서 기화반응속도가 크게 감소하면 반응에 의한 흡열량이

줄어들므로 니켈층의 온도는 급격한 기화반응 속도를 갖는 반응초기단계에 비해 높아지게 되어 니켈층을 구성하고 있는 작은 니켈 nodule들 간에 소결, 수축현상이 나타나게 되며 아울러 니켈층 내의 micropore의 이동 및 결합이 용이하여지므로 그 크기가 증가한다. 또한 반응시간이 증가할수록 이와같은 소결현상은 계속되어 니켈층의 표면에너지가 감소되는 방향, 즉 표면적을 최소화하는 방향으로 변화하여 니켈 nodule에 의한 표면의 굴곡이 점점 사라지게 된다. 이러한 니켈층의 형상변화들은 반응산물의 SEM 사진을 통하여 관찰할 수 있다.

한편 복합분말 중의 흑연코어가 기화, 제거되어 형성된 분말내부의 동공은 반응생성가스의 방출에 따른 분압감소 및 니켈층의 소결에

의하여 수축될 수 있다. Fig. 8은 기화반응전의 시료와 각각 30분, 1시간 및 2시간 기화반응이 진행된 반응산물들의 입도분포를 조사한 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 시료로 사용한 복합분말의 평균입도크기는 약 $88\mu\text{m}$ 이었으나 30분 기화반응 후 분말평균입도크기는 약 $76\mu\text{m}$ 로 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과로 미루어 볼때 흑연코어의 기화, 제거에 의해 생성되는 분말내부 동공의 크기는 흑연코어의 크기보다는 작다고 생각된다. 그러나 1시간 및 2시간 기화반응 후 산물의 평균입도크기는 각각 $80\mu\text{m}$, $91\mu\text{m}$ 으로 30분 경우의 크기에 비해 증가하는 결과를 보이고 있는데 이는 반응시간이 증가함에 따라 분말입자간의 소결현상이 증가하기 때문으로 추측된다.

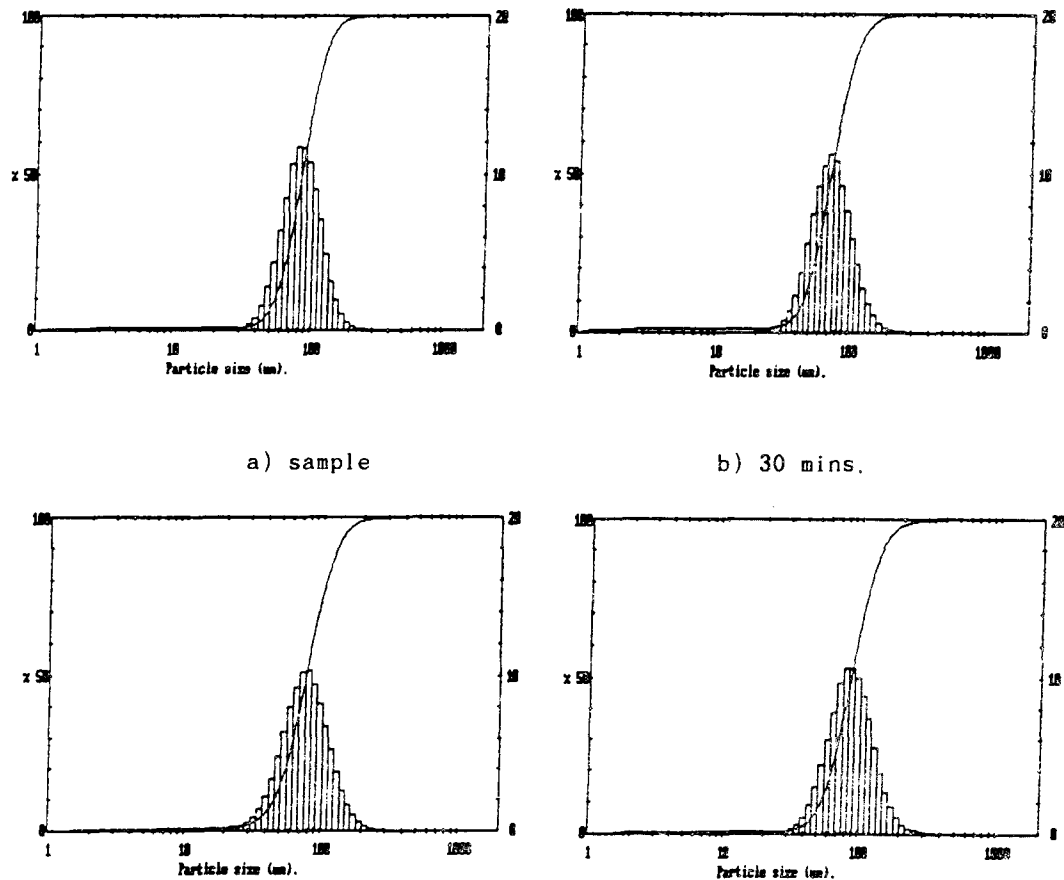


Fig 8. Particle size distributions of sample and gasified powders.

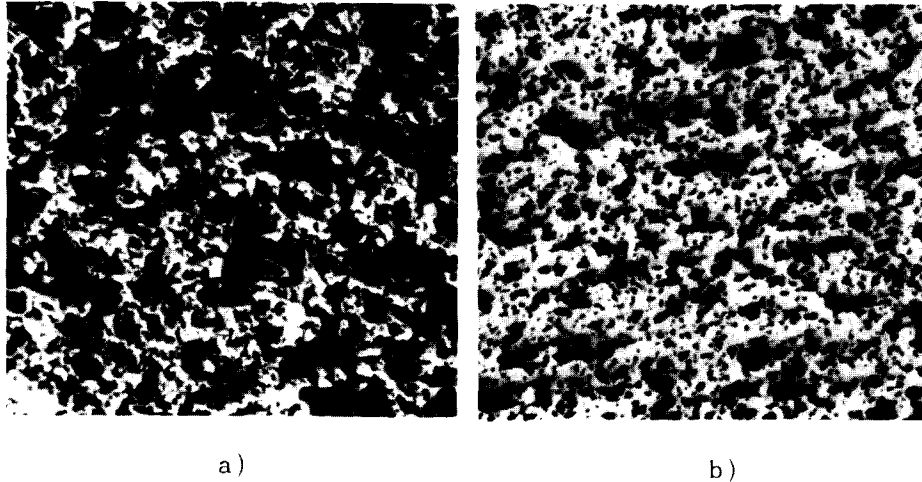


Fig. 9. Surfaces of green (a) and sintered (b) compacts. ($\times 200$)

3-2. Hollow니켈금속분말의 성형 및 소결

Hollow니켈금속분말을 성형, 소결하여 다공성 니켈금속재료를 제조함으로써 재료내의 기공크기, 기공분포 및 기공도 등을 쉽게 제어할 수 있는 가능성을 확인하기 위하여 흑연코어의 평균입도가 $21\mu\text{m}$ 인 니켈-흑연복합분말로부터 제조된 hollow니켈금속분말을 $1,000\text{Kg}/\text{cm}^2$ 의 압력으로 압축, 성형하여 1150°C 온도로 진공로에서 1시간 소결한 후 성형체 및 소결체 각각의 기공분포 상태 및 기공도 등을 조사, 관찰하였다. 이때 성형체의 겉보기 기공도는 약 45% 정도이며 폐공 및 개공에 의한 기공도가 각각 23.4% 및 21.5%로써 서로 비슷한 값을 얻었다. 이 성형체를 소결한 소결체의 겉보기 기공도는 약 30% 정도이며 개공이 차지하는 기공도는 약 19% 정도로써 성형체의 경우와 비슷한 값을 보이나 폐공이 차지하는 기공도는 약 10% 정도로써 성형체에 비해 훨씬 낮은 값을 나타내었다. 이는 소결시 니켈층의 수축에 따라 폐공의 많은 부분이 개공으로 이동 방출됨에 기인하는 것 같다. Fig. 9는 각각 성형체 및 소결체 시편표면의 현미경 관찰사진이며 사진으로부터 크고 작은 기공들이 재료내에 균질하게 분포되어 있음을 확인할 수 있으며 SEM을 통해 확인한 소결체내의 최대 기공크기는 약 $18\mu\text{m}$ 정도이었다.

이상의 실험을 통하여 니켈-흑연복합분말의 니켈-흑연 조성비 및 흑연코어입도를 조절, 선택함으로써 원하는 크기의 니켈층 두께 및 내부동공을 갖는 hollow니켈금속분말을 얻을 수 있으며 이러한 분말을 원료로 사용하면 다공성 니켈금속재료 내의 기공크기, 기공분포 및 기공도 등을 쉽게 제어할 수 있는 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

니켈-흑연복합분말의 활용에 관한 기초연구의 일환으로 수행한 복합분말중 흑연코어의 기화거동 및 hollow니켈금속분말의 성형 및 소결에 관한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 니켈-흑연복합분말중 흑연코어와 수증기-수소 혼합가스간의 기화반응은 니켈의 촉매효과 때문에 $800^\circ\text{C}\sim 900^\circ\text{C}$ 의 낮은 온도에서 일어날 수 있으며 1시간 기화반응시 흑연코어의 98% 이상이 기화, 제거된다.

2) 니켈-흑연복합분말중 흑연코어의 수증기에 의한 기화반응속도는 825°C 온도에서 흑연만의 기화반응속도에 비해 약 20배 이상 빠르며 이는 니켈에 의한 촉매효과 때문이다.

3) 82.2wt.% Ni-17.8wt.% C(흑연코어의 평균입도 $21\mu\text{m}$)의 복합분말로부터 기화반응에 의하여 제조된 hollow니켈금속분말 성형체 ($1,000\text{kg}/\text{cm}^2$)의 겉보기 기공도는 45%이었

으며, 이 성형체를 1150°C의 온도에서 1시간 소성시 겉보기 기공도가 30%이며 기공의 분포가 균질한 소결체를 얻을 수 있었다.

4) 다공성재료 제조시 hollow분말을 원료로 사용하면 재료내의 기공분포상태, 기공크기 및 기공도 등을 쉽게 조절할 수 있는 가능성이 있다.

참 고 문 헌

1. B. Medding ; "The metallurgy of Nickel-coated composite powders" Can. Min. Met. Bull. July, **525** (1963)
2. Lund. J. A. et al ; "Studies of the sintering and homogenization of nickel-copper compacts" Powder Met. 10, **218** (1962)
3. Long. F. N. ; "Metallurgy of flame sprayed nickel aluminide coatings" Welding. J. 45 (2), **65** (1966)
4. E. L. LL. Rees et al ; "Nickel-coated powders via the carbonyl nickel gas process" Mod. Dev. Powder Met. 20, **311** (1988)
5. D. W. Mckee ; Carbon, 8, **623** (1970)
6. B. J. Wood ; Rev. Sci. Eng. **26**, 233 (1984)
7. Kinoshita, K. ; "Carbon, electrochemical physicochemical properties" : John Wiley & Sons. Inc., **192** (1988)