

희석제 입도가 고온자전연소법에 의한 질화알루미늄 합성에 미치는 영향

이재령[†] · 이익규 · 신희영 · 정현생
한국지질자원연구원 자원활용소재연구부
(2004년 11월 17일 접수; 2005년 1월 14일 승인)

Effect of Diluent Size on Aluminum Nitride Prepared by Using Self-Propagating High-Temperature Synthesis Process

Jaeryeong Lee,[†] Ikkyu Lee, Heeyoung Shin, and Hunsaeung Chung

Minerals and Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea
(Received November 17, 2004; Accepted January 14, 2005)

초 록

고온자전연소법에 의한 질화알루미늄 합성에 있어서, 반응물(Al) 형상과 희석제(AIN) 입도 등의 형상학적 조건이 반응 생성물에 미치는 영향을 조사하였다. 평균 입경(34 μm)이 같은 두 종류의 Al 분말(입상, 편상)과 평균입경이 다른 4종류의 AIN 분말을 희석제로 사용하여 반응 성형체를 준비하였다. 반응성형체의 충전밀도는 이론밀도의 35%로 고정하였고, 초기 질소압은 1~10 MPa, 희석율은 0.4~0.7로 변화시키면서 반응을 실시하였다. 반응물과 희석제의 입도를 비슷하게 조절함으로써, 상대적으로 질소압이 낮은 1 MPa의 조건에서도 순도 98% 이상, 입경 수십 μm 의 AIN 합성이 가능함을 확인하였다. 이러한 고순도, 고입경화는 연소파 진행 후, 성형체 내부로 질소가스 투입 용이성의 차이에 의한 현상이라고 판단된다.

ABSTRACT

To investigate the morphological effect on synthesis of aluminum nitride by SHS process, two type of Al powder (granular and flaky shape) with the mean size of 34 μm and the diluent AIN powders of four different mean sizes, 0.12, 9.7, 39.3, 50.5 μm , were used to prepare green compact. The packing density was fixed to 35 TD%. The initial pressure of N_2 and diluent fraction was varied in the range of 1~10 MPa, 0.4~0.7, respectively. AIN with high purity of 98% or over and large particle size of about several tens μm can be synthesized by SHS reaction as a consequence of adjusting particle size of AIN diluent similarly to that of Al reactant. This may be caused by improvement of N_2 gas permeation to compact after passing the propagation wave. In the case of flaky-shape aluminum used as reactant, instead of granular Al-powder, unstable combustion would be occurred. As the result, irregular propagation of combustion wave and falling-off of maximum temperature would be observed during the reaction.

Key words : SHS method, Diluent size, Reactant shape, AIN

1. 서 론

질화알루미늄(AIN)은 용융금속에 대한 높은 내부식성, 침식 저항성이 높은 물질로서 금속용융 및 진공증착 등 금속정련 산업에 오랫동안 응용연구가 진행되어 왔다.^{1,2)} 또한 높은 열전도도(Single crystal : 320 W/m · K, Polycrystalline : 80~200 W/m · K), 전기 저항성($\rho > 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$), 비교적 낮은 열팽창율($3.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), 유전상수($K=8.9$ at 1 MHz at room temp.) 등의 우수한 열적, 전기적 특성을 지니고 있으며, 이로 인하여 고집적 기판재료 등 전기, 전자, 광학산업 원료로 사용이 기대되고 있다.³⁾

이렇듯 넓은 산업분야에 활용이 기대되는 AIN의 합성 방법에 관하여 많은 공정이 연구, 개발되어 왔으며, 그 중 현재 상업적으로는 탄소환원질화법과 직접질화법이 사용되고 있다. 하지만 이러한 공정들은 모두 1500°C 이상의 고온상태 유지가 요구되며 또한 장시간의 반응시간을 필요로 하여 생산 단가가 매우 높은 단점이 있다.⁴⁾ 그러므로, AIN의 활발한 산업적용을 위해서는 무엇보다도 생산 단가가 낮은 에너지 절약형 대체 합성기술이 요구되고 있다.

이러한 합성기술중의 하나가 자전연소합성(Self-propagating High-temperature Synthesis, SHS) 공정이다.⁵⁻⁷⁾ SHS 합성법은 반응물의 반응열을 이용하는 방식으로 에너지 절감 효과가 크고, 반응속도가 빠르며 공정이 간단하여 종래의 합성방법과 비교하여 생산단가를 현저히 절감할 수 있는 장점을 지니고 있는 반면, 반응속도, 반응온도, 반응시간 등 반응변수를 제어하기가 힘들어 고순도 및 입자 성장

[†]Corresponding author : Jaeryeong Lee
E-mail : jrlee@kigam.re.kr
Tel : +82-42-868-3667 Fax : +82-42-861-9727

이 어려운 단점을 지니고 있다. 현재까지 SHS 합성법의 반응변수를 제어하기 위한 연구가 많이 진행되어 왔고, 그 결과 희석제 및 반응물의 porosity가 중요한 역할을 함이 밝혀졌다.⁸⁻¹⁰⁾

따라서 본 연구에서는 반응시료의 기공을 통한 질소가스의 투과성과 반응 중 금속 용융에 의한 기공의 소멸현상이 반응에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 가스 투입에 영향을 미치는 형상학적 인자, 즉 반응물 Al 분말의 형상과 반응희석제 AlN의 입도를 조절하였고, 각 조건의 반응생성물 형상을 조사함으로써 고순도 AlN 합성 및 생성물의 입경 조절 조건을 도출하고자 하였다.

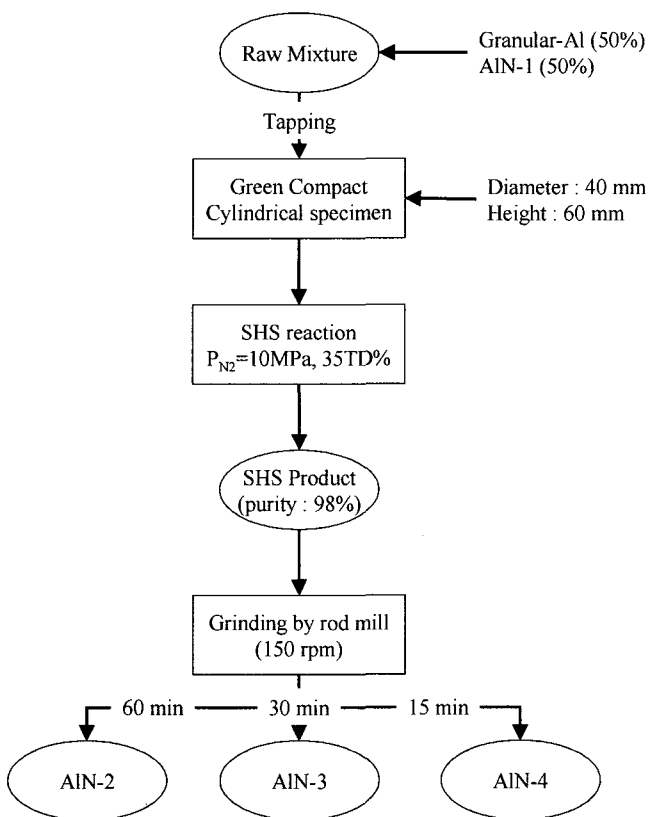


Fig. 1. Process flowchart for preparing AlN powders used for the diluent in this research.

2. 실험 방법

본 연구의 반응물질은, 형상이 다른 두 종류의 알루미늄 분말(판상: JUNSEI사, JAPAN, 입상: Alcoa사, USA)과 초고순도 질소가스를 사용하였다. 반응희석제는 평균입경이 다른 4종류의 AlN을 준비하여 사용하였다. 희석제 AlN-1의 경우는 평균입경 0.12 μm , 순도 99% (Tyco사)의 제품을 이용하였으며, 다른 3종류 희석제 평균입경은 9.7(AlN-2), 39.3(AlN-3), 50.5 μm (AlN-4)로서, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 본 연구실에서 합성시킨 AlN을 Rod mill을 이용하여 각각 60, 30, 15분 동안 분말화시킨 것이다. 이상의 반응원료의 평균입경, 순도 등을 Table 1로 정리하였다.

원료혼합물 준비를 위하여 알루미늄과 질화알루미늄 분말을 희석율($f_{dil} = \text{AlN}/(\text{Al} + \text{AlN})$) 0.4-0.7로 조정하여 혼합하였다. 희석은 SHS 공정에서 발열온도, 연소과 진행속도 등을 제어하는데 가장 기본적인 변수이며, 희석율 0.8 이상에서는 연소과 진행이 완전히 이루어지지 않았다. 혼합은 1l 용기에 알루미늄과 분말을 함께 장입한 후, 2시간 건식혼합하였으며, 이때 분말의 무게비는 약 1:4로 유지하였다. 이렇게 준비된 원료혼합물은 흑연재질의 원판 위에 #325 스테인레스 스크린을 실린더 형태로 고정시킨 뒤, 이 안에 원료혼합물을 충전시켰다. 장착시료의 부피는 직경 4 cm, 높이 6 cm, 성형밀도는 단순 Tapping에 의하여 35 TD%로 고정하였다. 반응기 용량은 2l이었으며, 초기질소압은 희석제입도 변화실험은 1 MPa로 설정하였으며, 알루미늄 형상변화 실험은 1, 10 MPa로 반응을 진행한 후, 결과를 비교하였다.

시편을 장착한 후, 1, 10 MPa 두 초기질소압 조건에서 반응을 진행시켰다. 발열체는 $\phi 0.5$ mm W-wire를 이용하여 시편상단에서 점화시켰다. 반응온도는 시편의 정중앙 위치에서 열전대(W-5%Re, W-20%Re)를 사용하여 측정하였고, 연소속도는 초기 점화부터 연소과가 열전대에 도달할 때까지의 시간으로 환산하였다.

반응생성물의 상은 XRD (RTP 300RC, Rigaku, Japan)를 이용하여 분석하였다. 합성 AlN의 형상은 SEM (JSM-6400, Jeol, Japan)으로, 입도는 입도분석장비 (Mastersizer 2000, Malvern, USA)를 이용하여 조사하였다. AlN의 순도는 가

Table 1. Materials Used in This Study

Powder	Mean size (μm)	Purity (%)	Sources
Flaky-Al	34	98	JUNSEI
Granular-Al	34	99	ALCOA
AlN-1	0.12	99	TYCO
AlN-2	9.7	98	SHS followed by Grinding for 60 min
AlN-3	39.3	98	SHS followed by Grinding for 30 min
AlN-4	50.5	98	SHS followed by Grinding for 15 min

스분석기 (N/O Determinator, TC-436 series, Leco, USA) 를 이용하여 질소함량을 정량분석하고, 이것을 AlN 농도로 환산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 입도분포가 질화반응에 미치는 영향

Al-N₂-AlN 계에서의 희석제 AlN 입도가 연소반응에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 4종류의 평균입경이 다른 AlN 희석제를 이용하여 반응을 비교, 분석하였으며, 이때 초기질소압, 충전밀도, 희석율은 각각 1 MPa, 35 TD%, 0.5 로 고정하였다. Granule-type Al 분말을 반응원료로 사용하였으며, Flaky-type Al의 반응결과는 희석제 입도변화에 의한 효과가 미비하여 고찰하지 않았다.

Fig. 2는 각 희석제 입도별 반응생성물의 XRD 분석 결과이다. 평균입경이 0.12 (a), 9.7 (b), 50.5 μm (d)인 AlN 희석제를 사용한 경우에는 미반응 Al 피크가 38° 부근에서 검출된 반면, 39.3 μm (c)의 경우에는 모든 피크가 AlN (Hexagonal)과 일치하였으며, 또한 다른 조건에 비하여 피크세기도 강하게 검출되었다.

4종류 반응생성물중의 AlN의 함량을 정량분석하기 위하여, 각 반응생성물의 질소 함량을 가스분석으로 측정하고, 검출된 질소성분이 AlN 형태로 생성물 중에 존재한

다는 가정하에 AlN 함량을 계산하여 Table 2에 정리하였다. P_{AlN-3}의 AlN 함량은 98% 이상으로, 96% 정도의 함량을 나타낸 다른 3종류의 반응생성물에 비하여 월등히 높았다. 이것은 평균입경 39.3 μm의 희석제를 사용한 반응생성물이 다른 희석제 입경조건에 비하여 높은 질화반응율을 나타냄을 의미한다. 이러한 생성물의 질화율의 차이는 반응충진체(Green compact) 내부로의 질소가스 침투 용이성, 즉 내부 질소분압에 의해서 발생한다고 판단된다. 즉, 반응충진체에서 Al과 AlN 분말의 입경차이가 감소할 수록 충진체 내부로의 질소가스 투입이 원활하게 되어 높은 질화반응을 유도하게 된다. 반대로 입경차이가 클수록 분말사이의 공극이 감소하게 되어 질소가스 투입이 어려울 것이다.

희석제 입경에 의한 반응차이는 반응온도 profile에서도 확인할 수 있었다. 측정온도는 고온용 thermocouple을 이용하여 'thermo program'으로 환산한 결과이며, 실제 반응온도와 다소 차이가 있을 수 있다. Fig. 3은 희석제 AlN-1과 AlN-3을 사용했을 때, 충진체 내부에서 측정된 temperature-time profile 결과이다. 두 조건 모두 연소반응 최대온도는 1800~1900°C 정도로 유사하였다. 하지만, 반응과가 지나간 후의 충진체 온도변화는 다른 경향을 나타내었다. 희석제 AlN-1 이용 반응과 비교해서, AlN-3를 희석제로 사용하였을 경우 750°C까지 온도 손실은 빠르게 진행되지

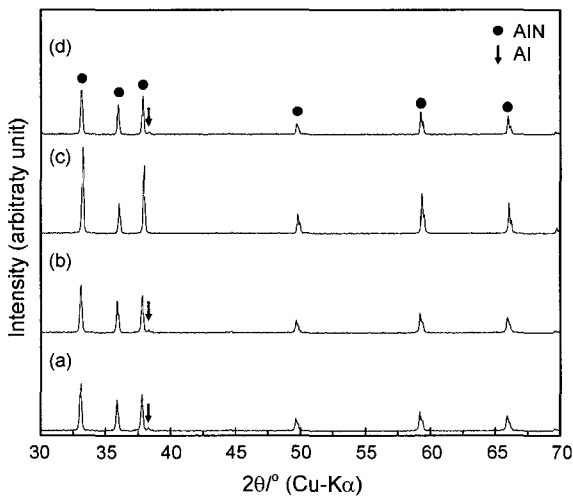


Fig. 2. XRD patterns of products of Al-N₂-AlN system at initial N₂ pressure 1 MPa, f_{Dil} =0.5, 35 TD%, with AlN diluents of (a) 0.12, (b) 9.7, (c) 39.3, and (d) 50.5 μm (G-Al used).

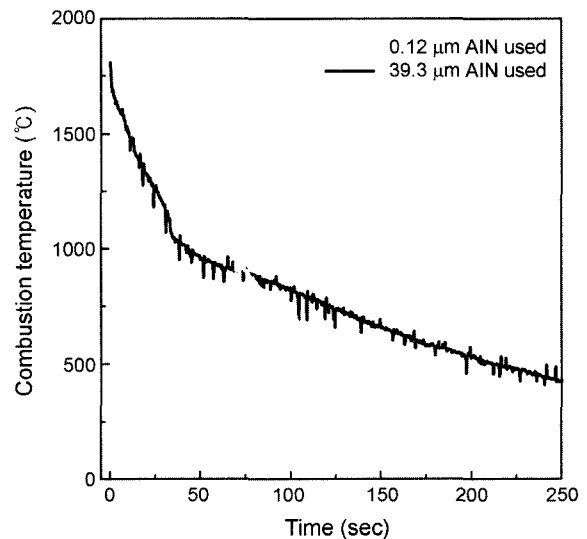


Fig. 3. Combustion temperature profiles of Al-N₂ system at initial N₂ pressure of 1 MPa and diluent factor of 0.5 (G-Al used).

Table 2. N Composition and AlN Content in the SHS Reaction Product

	P _{AlN-1} ((a) in Fig. 2)	P _{AlN-2} ((b) in Fig. 2)	P _{AlN-3} ((c) in Fig. 2)	P _{AlN-4} ((d) in Fig. 2)
N composition (%)	32.68	32.96	33.60	32.96
AlN content (wt%)	95.61	96.43	98.31	96.36

만, 이 후의 구간에서는 온도감소가 서서히 진행하여 결과적으로 500°C 이상의 온도를 장시간 유지함을 확인할 수 있었다. 이것은 반응과 통과 후, 충전체의 기공이 유지

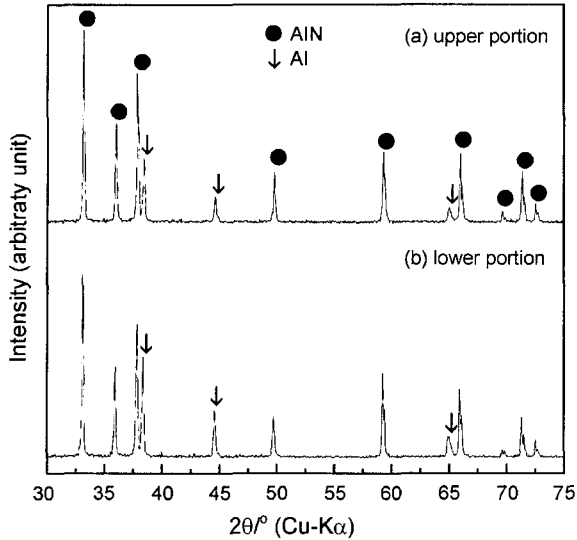


Fig. 4. XRD patterns of product combustion-quenched by venting nitrogen gas from the reaction chamber (Al-N₂-AlN system at initial N₂ pressure of 1 MPa and f_{Dil} of 0.5 with AlN diluent of AlN-3).

됨으로써 초기 온도감소는 신속히 진행되지만, 이 후 유지된 기공을 통한 질소가스의 원활한 공급으로 인해 질화반응이 지속되고, 결과적으로 최종 생성물로의 효율적 전환이 진행되기 때문이라고 판단된다. 또한 이것은 Table 2의 결과와 잘 일치하고 있다.

연소과가 지나간 후의 구간, 즉 After-Burn Period (ABP)에서의 질소가스 공급이 생성물에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 연소과가 시편하단까지 진행된 후 반응기내 질소가스를 강제 배기시켜 상부와 하부의 시료를 채취한 후, XRD 분석을 실시하였다. 반응은 Fig. 2(c) 조건과 동일하게 실시하였다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 시편 하부가 상부에 비하여 미반응 Al 피크가 보다 강하게 검출됨을 알 수 있었고, 이것은 반응과 진행 후, 질소압 유지 시간의 차이에서 비롯되었다고 사려된다. 즉, 고순도 생성물을 얻기 위해서는 ABP 구간에서 지속적인 질소가스의 투입에 의한 연속 반응이 필요하며, 이것은 희석제의 입도를 조절함으로써 개선 가능함을 확인할 수 있었다.

Fig. 2의 반응생성물에 대한 형상을 SEM을 이용하여 분석하여 Fig. 5에 나타내었다. AlN-1을 희석제로 사용한 경우 (a), 불규칙적인 분말과 휘스커상이 공존하고 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 반응충진체 내부로의 질소가스의 투과성과, 본 실험에서 측정된 2000°C 이상 고온에서의 미립 AlN 희석제의 승화에 의한 것으로 판단된다. 다

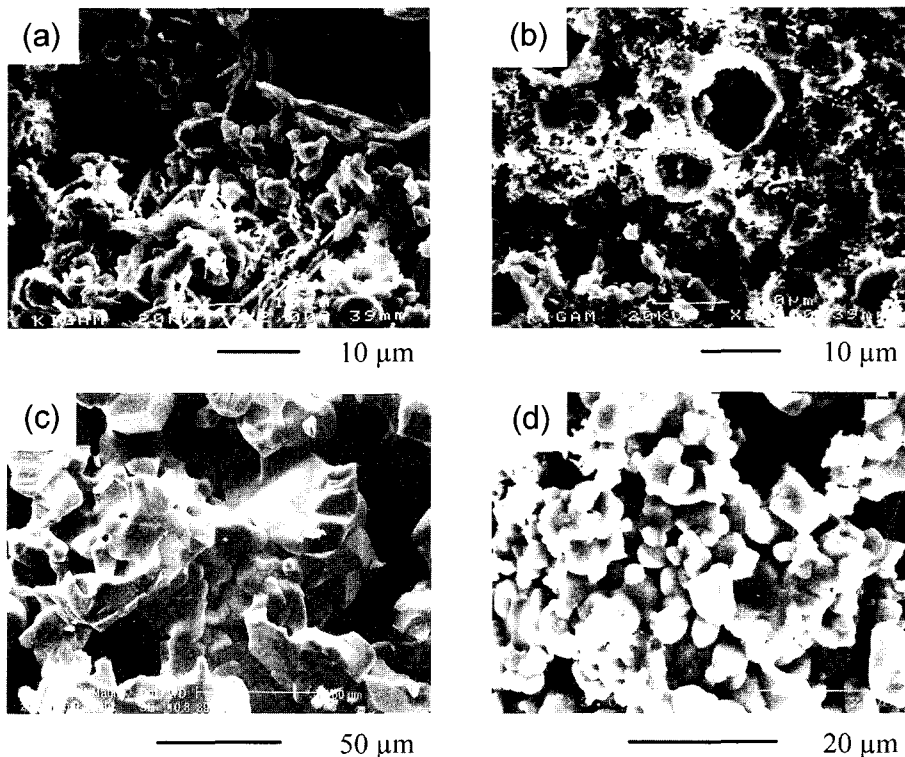


Fig. 5. SEM photographs of combustion products of Al-N₂-AlN system at initial N₂ pressure of 1 MPa and AlN diluent of (a) P_{AIN-1}, (b) P_{AIN-2}, (c) P_{AIN-3}, and (d) P_{AIN-4}.

시말해, 반응대에서 질소가스 분압이 반응물 Al, 혹은 회석제 AlN의 증기압을 극복할 만큼 충분히 높을 경우, 입상의 AlN 분말이 형성된다. 반면에 질소분압이 낮을 경우 반응물 혹은 회석제의 기화와 결정화 공정을 거쳐 휘스커형상의 AlN이 형성된다고 사료된다.

또한, AlN-1과 AlN-2 회석제를 사용한 생성물에서는 직접질화법과 낮은 질소압 조건에서 관찰되는 공동형상(hollow shape)이 확인되었다. 본 실험에서는 입경차이가 많이 나는 Al과 AlN을 사용함으로써 해서 가스투입 연속기공이 감소하게 되고 충전체 내부의 질소 분압이 낮아져서 발생된 것이라 판단된다. 즉, Al 분말이 미립의 AlN 분말에 둘러 쌓여 질소가스의 접근을 방해함으로써, 반응 초기 Al 분말의 표면만 질화반응을 일으킨다. 또한 연소과가 진행된 후 연속적으로 냉각되기 때문에 내부 용융 Al이 AlN 외벽으로 분출되어 터져 나옴으로써 공동형상이 형성되는 것으로 판단된다.

반면, AlN-3 회석제를 이용한 Fig. 5(c)의 경우, 생성물은 소결된 듯한 형상으로 크기는 수십 μm 정도임을 알 수 있었다. 이러한 형상은 ABP 구간에서의 고온상태의 장시간 유지, 즉 반응과 통과 후에도 지속적인 Al과 N_2 의 반응에서 기인하였다고 할 수 있다. 그 결과로써, 98% 이상 고순도와 수십 μm 급의 비교적 큰 입경의 AlN의 합성이 반응물과 회석제의 입도를 조절함으로써 가능하다고 판단된다. AlN-4을 사용한 생성물 Fig. 5(d)는 AlN-4 입자와 함께 Al로부터 합성된 2~10 μm 정도의 AlN 입상의 분말이 부분적으로 응집된 상태로 공존함을 확인할 수 있었으며, (a), (b)의 경우보다는 상대적으로 높은 내부 질소분압에 의하여, 공동형상이나 휘스커상은 관찰되지는 않았지만 Fig. 2에서 관찰된 미반응 Al의 존재로 미루어 충분히 지속적인 질소가스 분압의 유지는 달성되지 않았다고 판단된다.

3.2. 알루미늄의 형상이 질화반응에 미치는 영향

SHS 반응에 의한 AlN 합성에 있어서 반응물 Al의 형상이 미치는 영향을 조사하기 위하여 flaky type Al(F-Al)과 granular type Al(G-Al)을 이용하였고 입도의 영향을 배제하기 위하여 평균입경을 34 μm 로 조절하여 실험하였다. 회석제는 AlN-1을 사용하였으며, 회석율은 0.4~0.7 구간에서 조절하였다. 초기 질소압은 1, 10 MPa 두 조건에서 반응시켰다.

Fig. 6은 회석율의 변화에 따른 반응과 진행속도(V)를 나타낸 그래프이다. 일반적으로 V 는 초기 질소압에 비례하고 회석율에 반비례한다. G-Al을 이용한 반응의 경우, 반응과 속도(V_{G-Al})는 질소압 변화에 큰 영향을 받는 반면, F-Al에 의한 반응의 진행속도(V_{F-Al})는 질소압 영향력이 상대적으로 저조하였고, 또한 동일 회석율 조건에서 V_{F-Al} 이 V_{G-Al} 보다 빠르게 진행되었다. 이러한 결과는 Al 분말

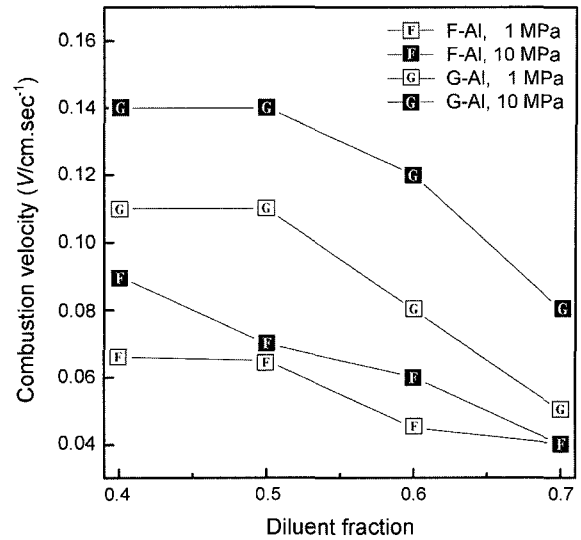


Fig. 6. Combustion velocity at two different initial N_2 pressures, 1 and 10 MPa, with diluent fraction of 0.4 to 0.7.

간의 자전연소과 진행 용이성과 반응충진체 내부로의 가스투과성의 차이로 설명될 수 있다. 다시말해, 우선 형상과 입도의 차이가 많은 분말로 이루어진 충전체 구조는 반응전과 반응중의 연속 기공의 구성의 변화로 인하여 많은 차이를 나타낸다. G-Al로 구성된 충전체는 F-Al 보다 가스투과성이 우수하다고 판단되며, F-Al을 이용한 반응의 경우 F-Al 분말간의 접촉면이 G-Al에 비하여 현저히 작기 때문에 연소과가 상대적으로 느리게 진행되었다고 추정된다.

F-Al과 G-Al에 의한 반응의 temperature-time profile을 충전체 수직중앙위치 두점에서 측정하여 Fig. 7로 나타내

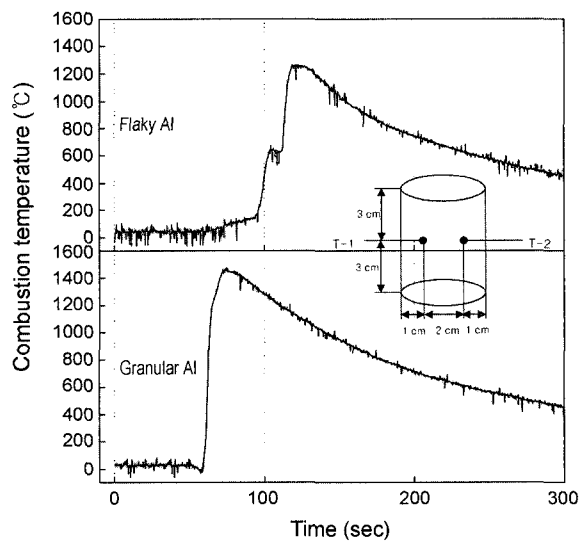


Fig. 7. Temperature-time profiles of combustion reaction with G-Al and F-Al at 1 MPa of N_2 pressure and 0.7 of f_{Dil} .

었다(회석율 0.7, 질소압 1 MPa). 앞서 언급한 바와 같이 F-Al에 의한 반응에서 연소과 진행이 G-Al에 비하여 지연됨을 다시 확인할 수 있었다. G-Al의 경우, 두 측정위치의 온도변화가 거의 일정하였고, 본 실험장비에서 측정

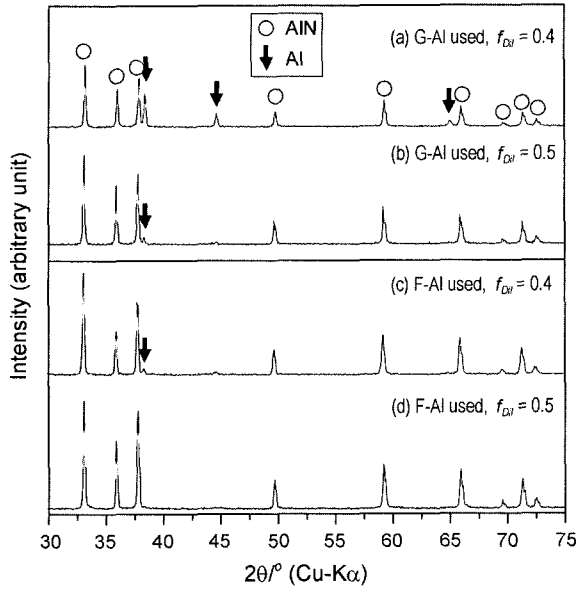


Fig. 8. XRD patterns of combustion products using F-Al and G-Al at initial N_2 pressure of 1 MPa.

된 최대온도는 약 $1400^{\circ}C$ 까지 상승하였다. 반면에 F-Al의 경우에는 두 지점에서 측정된 온도변화가 불규칙하게 진행되었고 최대온도 또한 $1300^{\circ}C$ 로 낮음을 알 수 있었다. F-Al 경우에서의 불규칙한 온도변화는 불완전한 충전체의 입자 적층구조로 인한 비이상 연소반응의 결과라고 사료되며, G-Al과 비교하여 낮은 반응온도는 외부로의 높

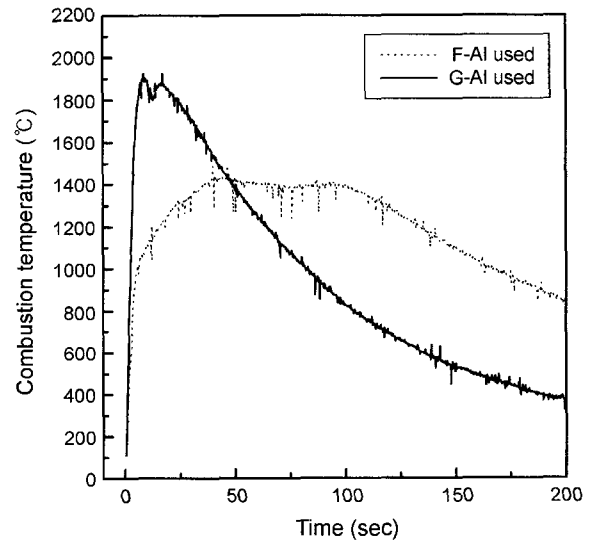


Fig. 9. Temperature-time profiles of combustion reaction using F-Al and G-Al at $f_{Dil} = 0.5$ and $P_{N_2} = 1$ MPa.

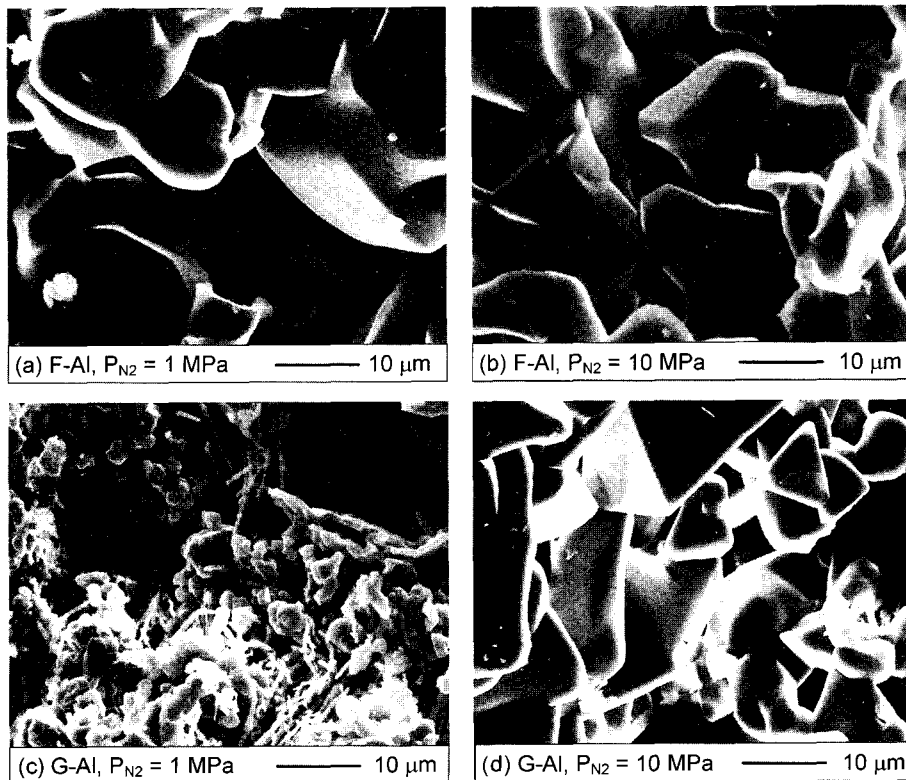


Fig. 10. SEM photographs of combustion products at f_{Dil} of 0.5.

은 열손실과 느리고 불완전한 연소과 진행의 결과로 사려된다.

1 MPa 초기 질소압 조건에서 반응생성물의 상을 XRD로 관찰하였다. Fig. 8에서 보는바와 같이 G-AI 사용한 경우, 희석을 0.4-0.5 구간에서 생성물중 AI 피크가 관찰되었으며, 강도는 희석율에 반비례하였다. F-AI에 의한 생성물의 경우 G-AI의 반응과 비교하여 생성물의 AIN 피크 강도는 높고 잔류 AI 피크의 강도는 낮게 검출되었으며, 희석율 0.5 조건에서는 AI 피크가 검출되지 않고 AIN만의 단일상으로 조사되었다. 다시말해서, F-AI의 생성물이 G-AI에 비하여 AIN 함량이 우수하였다. 이러한 경향은 Fig. 9의 temperature-time profile 분석결과로 설명할 수 있다. G-AI의 경우 반응온도는 점화로부터 15초 이내에 약 1900°C까지 급속히 상승함과 동시에, 이후 100초 이내에 800°C 이하로 떨어진다. 반면에 F-AI에 의한 온도 변화는 1400°C까지 서서히 승온한 후, 최고 반응온도가 G-AI의 경우와 비교하여 낮음에도 불구하고 800°C 이상을 200초 이상 지속함을 확인하였다. 이는 앞서 언급한 flaky 분말의 적층구조에 기인한 결과라고 판단된다.

희석율 0.5 조건에서의 두 AI분말에 의한 생성물의 형상을 SEM 분석하였다(Fig. 10). F-AI 분말에 의한 생성물은 질소압에 상관없이 약 40 µm 분말이 소결응집상으로 존재함이 확인되었다((a), (b)). 이것은 ABP에서의 800°C의 온도유지의 결과라고 사려된다. 1 MPa, G-AI 반응 조건에서는 휘스커상이 관찰되었고, 이것은 낮은 질소분압 하에서 충분히 많은 ABP 구간에서 고온유지의 결과라고 판단된다. 하지만, 질소 분압이 높아진 10 MPa 조건에서의 생성물의 형상은 F-AI 반응 생성물과 유사하였으나, 입경은 이 보다 약간 작은 약 20 µm 정도로 합성됨을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

출발원료의 충전 구조가 AIN 반응 생성물의 형상 및 순도에 큰 영향을 미침을 알 수 있었고, 반응물 AI과 희석제 AIN의 입경차이가 증가할수록, 반응전반에 걸쳐 질소가스의 충전체 내부 투입성이 감소하게 되고, 그 결과

로써 공동형상 및 휘스커상의 AIN이 생성물내에 존재함을 확인되었다. 반면, 두 입경차이를 유사하게 조절함으로써 98% 이상의 고순도 AIN을 합성할 수 있었다. 다른 형상의 각 AI 분말간 반응과 자전 용이성은 충전체 내부로의 질소가스 침투성과 더불어 생성물의 특성에 큰 영향을 미침을 확인하였다. 분말간 접촉면적이 적은 F-AI의 경우, 반응과 진행속도는 G-AI의 반응과 비교하여 느렸지만, 최고 반응온도가 상대적으로 낮음에도 불구하고 ABP 구간에서 장시간 고온을 유지하였다. 그 결과, F-AI을 이용한 반응이 고순도, 큰 입경의 AIN 합성에 유리하였다.

REFERENCES

1. G. A. Slack, R. A. Tanzilli, R. O. Pohl, and J. W. Vandersande, "The Intrinsic Thermal Conductivity of AlN," *J. Phys. Chem. Solids*, **48** [7] 641-47 (1987).
2. Y. Baik and R. A. L. Drew, "Aluminum Nitride : Processing and Applications," *Adv. Ceram. Mater.*, **122-124** 553-70 (1996).
3. G. Selvaduary and L. Sheet, "Aluminum Nitride : Review of Synthesis Methods," *Mater. Sci. Tech.*, **9** 463-73 (1993).
4. A. G. Merzhanov and I. P. Borovinskaya, "A New Class of Combustion Process," *Combust. Sci. Tech.*, **10** 195-201 (1975).
5. J. M. Haussonne, J. Lostec, J. P. Bertot, L. Lostec, and S. Sadou, "A New Synthesis Process for AlN," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **72** [5] 84-90 (1993).
6. Z. A. Munir and J. B. Holt, "The Combustion Synthesis of Refractory Nitrides," *J. Mater. Sci.*, **22** 710-14 (1987).
7. A. G. Merzhanov, "History and Recent Developments in SHS," *Ceram. Int.*, **21** 371-79 (1995).
8. V. V. Zakorzhevski and I. P. Borovinskaya, "Regularities of Self-Propagating High-Temperature Synthesis of AlN at Low Nitrogen Pressure," *Int. J. Self-Propagating High-Temperature Synthesis*, **7** [2] 199-208 (1998).
9. K. Tanihata and Y. Miyamoto, "Reaction Analysis on the Combustion Synthesis of Aluminum Nitride," *Int. J. Self-Propagating High-Temperature Synthesis*, **7** [2] 209-17 (1998).
10. K. Lee, D. Ahn, and Y. Kim, "Aluminum Nitride Whisker Formation during Combustion Synthesis," *J. Am. Ceram. Soc.*, **83** [5] 1117-21 (2000).