

# 나노다이아몬드가 첨가된 오일과 수용액의 점도 및 윤활 특성

강순국\*, 박중순\*\*, 박영문\*

\*선문대학교 환경공학과

\*\*충북대학교 환경공학과

e-mail:kkskang@sunmoon.ac.kr

## Combustion characteristics of nanodiamond synthesized by detonation

Soon-Kook Kang\*, Jong-Soon Park\*\*, Yeang-Moon Park\*

\*Dept of Environmental Engineering, Sunmoon University

\*\*Dept of Environmental Engineering, Chungbuk University

### 요 약

폭발법에 의하여 얻어진 나노다이아몬드는 흑연상의 탄소를 일정 부분 갖으면서도 천연다이아몬드와 유사하게 높은 경도와 내마모 특성을 갖는 것으로 알려져 있으며, 흑연은 고온에 견디는 고체 윤활제로 사용되어 왔다. 따라서 나노다이아몬드를 오일과 물에 첨가하면서 용액의 점도 변화와 윤활 특성을 조사하였다. Fig. 2와 같이 3%(w/v)까지는 점도가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

### 1. 서론

TNT등을 폭발하는 방법으로 합성된 나노다이아몬드가 알려진지 20년이 지났지만 이렇다 할 만한 산업적 응용을 보이지 못하다가 최근 10년 동안 많은 진전을 보이고 있다. 그중 하나로 각종 작동 부위의 마찰과 마모를 줄이기 위한 윤활제가 있다 [1-2]. 가장 일반적인 윤활제는 광유나 합성유에 각종 첨가제를 넣어 제조하는 윤활유이다. 윤활유체는 접촉부에 윤활막을 형성시켜 마찰과 마모를 낮추고, 마찰열을 운반하는 열수송 매체인 동시에 마모로 발생된 입자를 분리 분해 제거하는 세척 작용도 요구된다[3-5]. 따라서 윤활유체의 점도는 윤활막의 형성과 마찰저항의 관점에서 매우 중요한 요소 중 하나이다. 또한 나노다이아몬드가 부가되는 유체로 오일을 대신한 수성윤활유체는 환경적 측면에서도 매우 가치가 있다고 생각된다[6].

### 2. 실험

본 연구에 사용된 나노다이아몬드는 폭발법에 의해 제조된 흑연성 나노다이아몬드를 사용하였으며, 유체는 시판되는 광유계 윤활유와 초순수를 가지고

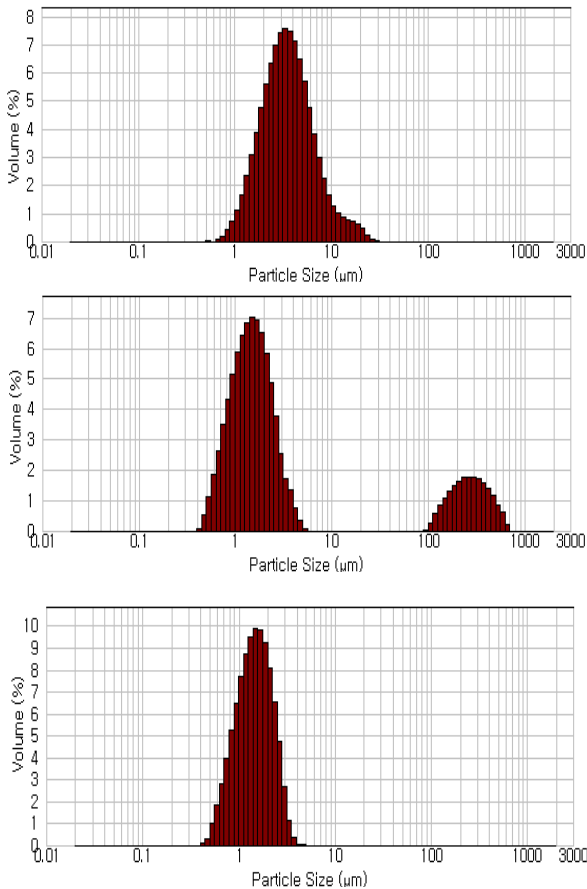
행하였다. 점도의 측정은 가열교반기위에 유체를 넣은 비이커를 놓고, 천천히 교반 가열하며 점도를 측정하였다. 이때 시료유체의 온도가 100℃까지 가열시의 점도와 20℃까지 냉각하며 유체의 점도를 측정하였다. 액상에 대한 다이아몬드의 농도는 20~100mg/L이다. 윤활유의 마모특성은 사구시험을 통해 얻어진 볼의 표면상태를 현미경을 통해 측정하였다.

### 3. 결과

#### 3.1 폭발 및 정제 다이아몬드의 특성

폭발 다이아몬드와 산처리 후 정제된 다이아몬드의 입도분포는 X-ray 입도계수기(MarverIn2000)로 측정하였으며, 그림1에 나타내었다. 그림에서 보듯이 흑연은 평균입이 5.2 $\mu\text{m}$ 이며 0.4~30 $\mu\text{m}$ 분포를 갖는 대수정규분포를 나타내고 있다. 폭발에 의해 제조된 나노다이아몬드는 나노급보다는 큰 0.2~4 $\mu\text{m}$ 분포(평균입경 = 1.9 $\mu\text{m}$ )와 제조과정에서 포함된 불순물 분포인 100~400 $\mu\text{m}$ 로 2중 대수정규분포특성을 보여주고 있다. 산처리 정제과정을 통한 나노다이아몬드에서는 불순물 제거된 것으로 0.2 $\mu\text{m}$ 의 분포(평균입경 = 1.62 $\mu\text{m}$ )를 나타내고 있다. 실제

적인 나노입자크기로 제조된 폭발 또는 정제 다이아몬드는 서로 응집된 형태로 존재하는 것으로 사료된다. 특히 극성인 친수성인 OH 또는 COOH 라디칼이 다이아몬드 표면에 존재하기 때문에 극성용매인 물에 대해 응집입자들이 완전한 나노입자의 분산상으로 존재하기 힘들다. 그러므로 입경크기에 대한 자료값이 다소 크게 나오는 것으로 사료된다.



[그림 1] 흑연(A), 폭발 다이아몬드(B) 및 산처리된 다이아몬드(C)의 입도분포.

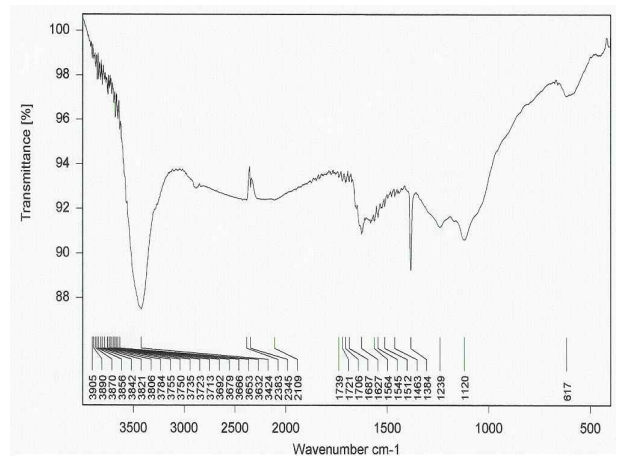
[표 1] EDAX를 통해 조사된 다이아몬드의 성분분석

성분	폭발성 다이아몬드(%)	산처리 다이아몬드(%)
C	81.13	84.28
O	8.70	15.03
Cl	0	0.68
Si	2.51	0
S	4.95	0
Cu	1.78	0
Fe	0.93	0

표1은 EDAX에서 측정된 폭발 및 정제 다이아몬드의 성분 결과분석이다. 표에서 보이는 바와 같이 폭발 다이아몬드의 경우 폭약 및 폭발로 벽체에 존재하

는 황성분 및 금속 등에 기인한 것으로 사료되며 정제 다이아몬드의 경우 산처리 과정에서 불순물들이 제거되었으나 염산에 의하여 Cl성분이 부가된 것으로 보인다.

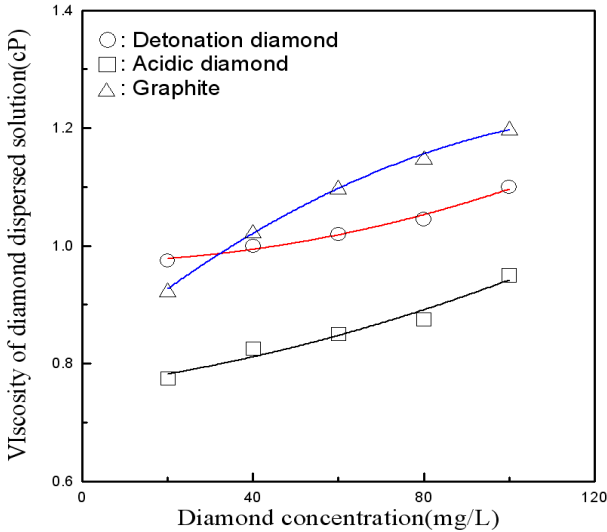
그림2는 산처리 정제된 다이아몬드의 FT-IR 스펙트럼을 나타내고 있다. 그림에서 보듯이  $436\text{cm}^{-1}$ (O-H)와  $2921\text{cm}^{-1}$ (C-H)  $1632\text{cm}^{-1}$ (C=O)의 peak가 나타나고 있다. 그러므로 정제 다이아몬드는 친수성기인 OH와 COOH 라디칼들이 나노다이아몬드의 표면분포하고 있다. 따라서 나노 입자들간의 극성 전기적인 힘에 의하여 보다 강하게 응집될 수 있을 것으로 사료된다.



[그림 2] 산처리된 정제 다이아몬드의 FT-IR 스펙트럼.

### 3.2 다이아몬드 분산 수용액의 점도변화

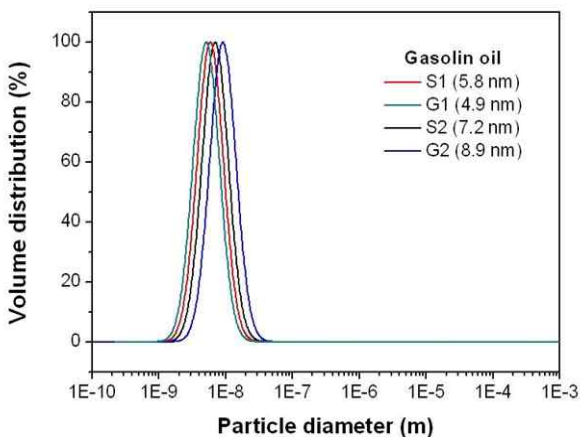
그림 3은 분산상 입자의 종류(흑연, 폭발 및 정제 다이아몬드)와 분산 농도에 따른 점도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 농도가 증가할수록 점도는 증가하고 있다. 폭발 및 정제 다이아몬드의 증가 형태는 유사하지만 흑연과는 다른 유형의 패턴을 보여주고 있다. 이는 극성(폭발 및 정제 다이아몬드)의 표면과 비극성에 가까운 표면특성으로 인해 분산상태가 서로 상이한 이유에 기인하는 것으로 사료된다. 또한 정제 다이아몬드의 점도는 순수한 물보다 낮은 값을 보이지만, 폭발 다이아몬드는 대체적으로 물보다 높은 값을 보인다. 이는 표 1에 나타난 것처럼 제조과정에서 철이나 구리같은 불순물이 포함되어 있기 때문이다. 이와 같은 거대 크기의 불순물은 분산성을 감소를 유발하여 점도를 상승시키는 것으로 사료된다.



[그림 3] 농도에 따른 다이아몬드 분산용액의 점도변화

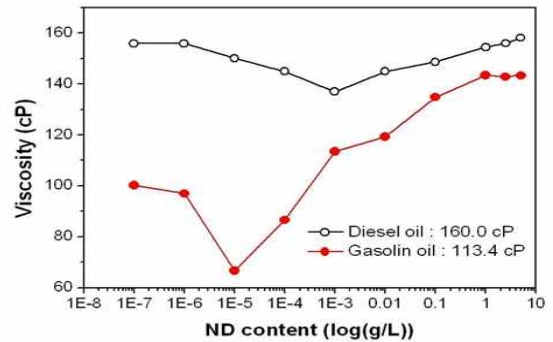
### 3.3 다이아몬드 분산 유탄유의 점도변화

그림 4는 유탄유 내에 분산된 정제 다이아몬드의 입경분포를 레이저다이오드 입도분석기로 측정자료를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 측정횟수에 따라서 약간의 차이는 있지만, 평균 입경크기가 4.9~8.9nm인 대수정규분포이다. 유탄유 내에 분산된 정제 다이아몬드의 평균입경은 물에서 분산된 다이아몬드 클러스터의 평균직경보다 매우 작다. 이는 유탄유 내에서는 입자들이 상호간의 반발력이 응집력보다 크기 때문에 개개의 입자 상태로 존재할 수 있는 것으로 사료된다. 이에 반해 수용액내의 정제 다이아몬드는 응집력이 반발력보다 크기 때문에 개개 입자보다는 크러스터 형태로 분산되기 때문이다.



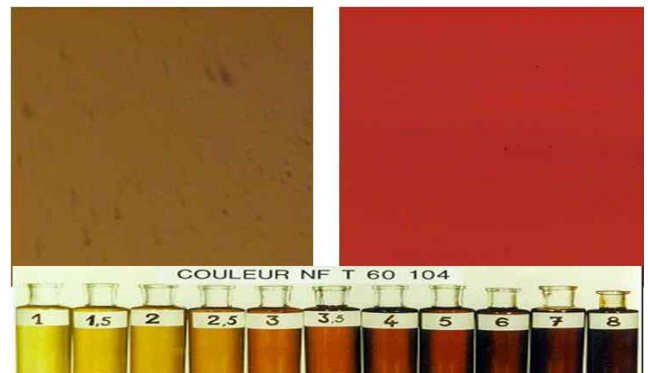
[그림 4] 분산용액에서 측정된 정제 다이아몬드의 입경크기 분포.

정제 다이아몬드의 분산농도(0.1~4000  $\mu\text{g/L}$ )에 따른 점도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 유탄유의 점도는 종류에 상관없이 농도가 증가함에 따라서 감소하다가 0.01mg/L(가솔린)과 1mg/L에서 최소값을 보이고 증가하고 있다. 또한 전반적으로 저농도에서는 순수한 가솔린용 유탄유(113.4 cP)와 경유용 유탄유(160 cP)보다 낮은 값을 보이지만, 고농도에서 보다 높은 값이 나타나고 있다. 이는 낮은 농도에서는 슬립 속도에 의한 마찰저항의 감소로 인해서 점도가 적게 측정되지만, 농도가 높아질수록 슬립효과보다는 고체 입자의 농도효과로 인해 점도가 상승하는 것으로 사료된다.



[그림 5] 정제 다이아몬드 분산농도와 유탄유 종류에 따른 점도변화.

그림6은 정제 다이아몬드가 분산된 유탄유의 경시변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 유탄유에 다이아몬드가 부가되면 노란색에 가까운 갈색을 띄지만 사용 시간이 점차 경과함에 붉은 색을 띄게 된다. 그림 하단에 나타낸 비색병은 유탄유 교환 시기를 나타낸 것으로 4 또는 5의 색과 같을 때 유탄유의 교환을 적정 시점으로 보고 있다.

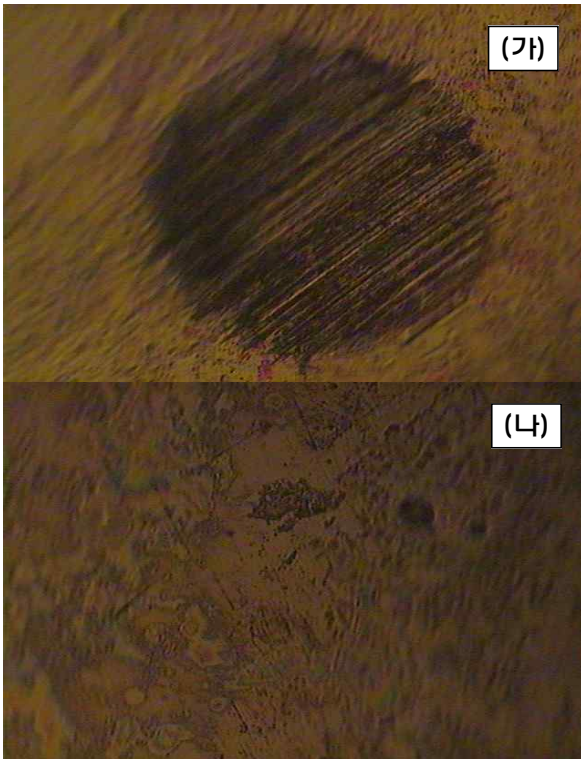


[그림 6] 정제 다이아몬드가 분산된 유탄유의 경시변화.

그림 5는 유탄유의 종류(가솔린용 및 경유용)와

### 3.4 다이아몬드 분산 윤활유의 마모 특성

그림 7은 순수 윤활유(나)와 정제 다이아몬드(250 mg/L)가 분산된 윤활유(가)의 사구시험을 통해 얻어진 볼의 표면을 200배 확대한 사진이다. 그림에서 보듯이 순수 윤활유에 의해 마모 시험된 볼의 표면에서는 큰 흠집이 거의 나타나지 않고 있다. 이에 반해서 다이아몬드가 분산된 윤활유에 의해 마모 시험된 볼의 표면에 스크래치가 집중적으로 나타나고 있다. 이는 다이아몬드의 분산농도가 지나치게 높아서 일정 부분에서 연마가 심하게 일어나는 것으로 사료된다. 향후 다이아몬드의 분산농도를 감소시키면서 볼 표면의 마모상태를 지속적으로 관찰해야 하는 것으로 사료된다.



[그림 7] 순수 윤활유(나)와 다이아몬드 분산 윤활유에 의한 볼의 마모변화.

### 3. 결론

정제 다이아몬드가 분산된 윤활유 및 수용액에 대한 점도 및 윤활유에 의한 마모 특성조사를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 산처리 정제된 다이아몬드는 응집된 형태로 입자표면은 친수성기인 OH와 COOH 라디칼들이 분포한다.
- (2) 분산상 수용액의 점도는 분산 농도가 증가할수

록 점도는 증가지만, 정제 다이아몬드의 분산 수용액 점도는 순수 물보다 낮은 값이 나타난다.

(3) 윤활유 점도는 종류에 상관없이 농도가 증가함에 따라서 감소하다가 0.01mg/L(가솔린)과 1mg/L에서 최소값을 보이고 증가한다.

(4) 윤활유 내에 분산된 정제 다이아몬드의 평균 입경크기는 4.9~8.9nm로 물에서 분산된 다이아몬드 클러스터의 평균직경보다 매우 작다.

### 참고문헌

- [1] Q. Zou et. al. "Charaterization of structures and surface states of the nanodiamond systhesized by deternation", Materials charaterization, Article in press, 2009.
- [2] L. H. Chen et al., "Electrochemical oxidation of nitrite on nanodiamond powder electrode", Electrochemica Acta, 53, 3443 -3445(2208).
- [3] Y. Zhu et. al., "Dispersion of nanodiamond and ultra-fine polishing of Quartz wafer", China prtucuclogy, 2, 153-156 (2204).
- [4] S.A.Rarka et al., "Diamond nanorods from nanocrystalline diamond films", J. of Crystal Growth, 311, 3332-3336(2009)
- [5] L. Joly-Pottuz et al., "Diamond-derived carbon onions as lubricant additives", Tribology International, 41, 69-78(2008)
- [6] C.C.Chou and S.H.Lee, "Rheological behavior and tribological performance of a nanodiamond-dispersed lubricant", J. of materials processing technology, 201, 543-547(2008)