

# 티타늄 코팅된 다이아몬드 지립이 다이아몬드 공구의 성능에 미치는 영향

임동필 · 임대순 · 민언기\* · 임종관\*

고려대학교 재료·금속공학부, (주)유니온 다이아몬드\*

## Effect of Ti Coated Diamond Grit on Performance of Diamond Tool

Dong-Phill Lim, Dae-Soon Lim, Un-Ki Min\* and Jong-Kuan Lim\*

Department of Material Science and Engineering, Korea University

\*Union Diamond Co.

**Abstract**—Diamond grit was coated with Ti by RF Sputtering to investigate the effect of coated diamond particles on performance of diamond impregnated saw. Coated and uncoated powders were separately mixed with 70Co-30W powders by conventional milling technique. Hot pressing was carried out to make specimens. The wear test were carried out with these two types of diamond impregnated specimens. It was demonstrated that Ti coating was effective in improving the ability of grit retention and thus enhanced the tribological performance of diamond tool.

**Key words**—Ti coating, diamond saw, sputtering, diamond grit.

### 1. 서 론

석재, 콘크리트 등의 절단에 쓰이는 다이아몬드 saw는 그 피절삭재의 종류에 따라 여러 형태가 있으나, 다이아몬드 지립을 코발트와 같은 금속 본드 분말과 혼합·소결한 tip을 금속 휠에 붙여 사용하는 것이 일반적이다. 이런 saw의 성능을 좌우하는 요소로는 지립의 물성, 기지 금속의 물성, 지립과 본드의 친화력을 들 수 있는데, 절삭 과정에서 특히 문제가 되는 것은 세번째로, 금속 본드가 지립을 단단히 잡아주지 못해 지립이 조기에 탈락되어 실질적인 절삭에 이바지하지 못하게 되어 절삭 성능은 물론이고 saw의 수명까지 감소시키는 것이다. 이를 개선하기 위해 소결 온도에서 카바이드를 형성하며, 기지 금속 본드와도 친화력이 있는 금속 물질을 코팅한 후 이를 소결하여 지립과 본드간에 연속적인 층을 형성하게 하여 지립 지지 능력을 향상시키는 몇가지 방법이 연구되었다[1-3]. 이때 코팅으로 사용되는 금속에는 Co, Ti, Fe,

Mo 등 여러가지가 있다. 그 중 Ti는 소결 온도인 600~850°C에서 카바이드(carbide)를 형성하며[4], 일반적으로 쓰이는 본드 물질인 Co와의 친화력이 강하고[5], 산소 친화력이 강해 기지 금속 분말에 포함되거나 지립에 코팅될 경우 다이아몬드 지립의 산화를 줄일 수 있는 장점을 갖고 있다[6].

기존의 문헌들을 살펴보면, 코팅할 금속을 분말 형태로 유기 용매와 혼합 후 이를 다이아몬드 지립에 코팅한 후 소결하거나[1,2] 전기 도금 혹은 화학 도금 하는[3] 방법이 주종을 이루고 있다. 이런 코팅 방법들은 코팅 층 두께를 조절하기 어려울 뿐 아니라 수십  $\mu\text{m}$ 이상으로 너무 두껍게 코팅될 수 있다. 지금까지는 코팅 효과에 대한 체계적 연구에 대한 연구 내용이 많지 않았으며[7], 코팅의 효과에 주안점을 두기보다 주속, 지립 크기, 석종 등 각종 변수에 따른 변화에 주안점을 두고 있으며, 절삭의 효율성을 평가할 수 있는 직접적인 방법인 마모 실험 후 지립 상태를 관찰해 비교하는 방법은 쓰이지 않고 있다. 따라서 코팅에 따

른 지립의 마모 거동의 차이를 관찰하여 코팅의 효과를 체계적으로 분석하는 연구가 필요하다.

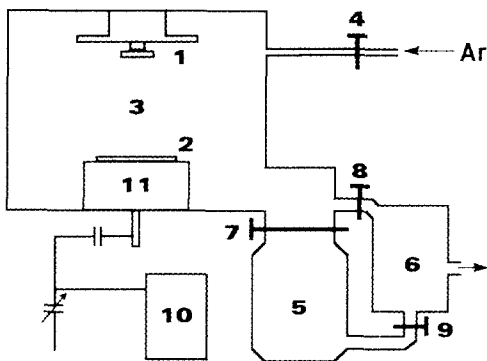
이 논문에서는 스퍼터링(sputtering) 장치를 사용하여 다이아몬드 지립을 Ti로 코팅 후, 가압 소결하여 시편을 제작하고 마모 실험 후 다이아몬드 지립의 상태 및 마모 부위 등을 광학 현미경 및 전자 현미경을 이용하여 관찰하였다. 본 연구의 목적은 Ti 코팅이 마모실험 중에 다이아몬드 지립의 접착력 등에 어떤 영향을 주는지를 조사하여 다이아몬드 saw 등의 공구의 성능을 향상시키고 수명을 연장시키고자 하는 것이다.

## 2. 실험 방법

### 2-1. 다이아몬드 지립의 코팅

증착에 이용한 RF-마그네트론 스퍼터링(RF-magnetron sputtering) 기기(Fig. 1)는 원통형 반응 용기 내의 시스템과 전력 공급 시스템, 진공 및 배관 장치 시스템 등으로 구성되어 있다. 용기 내에는 하단에 타겟이 위치하며, 코팅되는 다이아몬드 지립이 위에 위치하게 된다. 순도 99.99%의 직경  $5.08 \times 10^{-2}$  m의 Ti 타겟을 사용하였다. Ar 가스가 플라즈마 형성을 위해 사용되었으며, Ar 유량은 20 SCCM(standard cubic centimeter per minute)으로 고정하였다. 코팅에 사용한 다이아몬드 지립의 크기는 지름 0.5~0.6 mm 이며, yellow grade의 상용 다이아몬드 지립이 코팅되었다.

등방형의 다이아몬드 지립에 균일하게 코팅하기 위해 일단 유리판에 접착제를 바르고, 그 위에 다이아몬드 지립이 단일 층을 형성하도록  $0.03 \text{ m} \times 0.03 \text{ m}$  면



**Fig. 1. Schematic diagram of RF-sputter.** 1. Bearing Substrate, 2. Target, 3. Plasma, 4. MFC, 5. Diffusion Pump, 6. Mechanical Pump, 7. Main Valve, 8. Roughing Valve, 9. foreline Valve, 10. RF Generator (13.56 Mhz), 11. Magnetron.

**Table 1. Parameters of Ti coating**

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| Target to Sample Distance | $3.5 \times 10^{-2}$ m   |
| Power                     | 200 W                    |
| Pressure                  | $6.7 \times 10^{-2}$ atm |
| Bias                      | -20 V                    |
| Ar flow rate              | 20 SCCM                  |
| Atmosphere                | Ar                       |
| Coating time              | 2, 4, 6, 8h              |

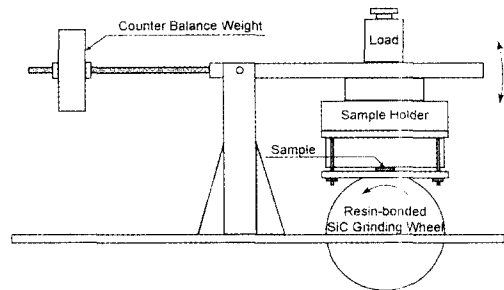
적에 고루 퍼 바른 후, 이를 상단에 위치하는 기관에 고정시켜 한 번 증착하여 지립의 반쪽 면을 증착시킨 후, 반대쪽 면을 증착시키기 위해 이 코팅된 지립 위에 접착 테이프를 붙여 떼어낸 다음 이를 다시 기관에 고정시켜 증착하였다. 증착 조건은 Table 1과 같다.

### 2-2. 시편 준비

증착한 다이아몬드 지립을 잡아주는 지지 금속 본드로는 지름 0.2~0.5  $\mu\text{m}$ 의 70Co-30W(wt%) 혼합 분말을 사용하였으며, 지립과 본드의 비율은 질량 비로 1:48의 비율로 하였다. 지립과 본드를 섞은 다음, 프레스할 때 성형체의 형태 유지를 위해서 액체 파라핀을 이 혼합 분말에 넣고(약 1 wt%) 볼 밀링 기기를 사용하여 6시간 섞고,  $10.0 \times 10^{-3}$  kg 평량으로 몰드에 주입한 후,  $5.0 \times 10^7 \text{ kg/m}^2$  압력에서 프레스하여 성형체를 얻었다. 이렇게 얻은 성형체를 소결온도 840°C에서 가압 소결하여 크기  $3.2 \times 9 \times 38 \text{ mm}$ 인 시편을 얻었다.

### 2-3. 마모 실험

제작한 시편을 Fig. 2와 같은 마모 시험기에 장착하여 마모 실험을 하였다. 시편을 홀더에 장착하고 평형 조정 후의 위치를 조정하여 수평을 맞춘 다음 임의의 무게의 추를 매달으로써 일정 하중 조건하에서 마모



**Fig. 2. Schematic diagram of wheel-on-plate type wear tester.**

**Table 2. Conditions of wear test**

|                  |          |
|------------------|----------|
| Test Duration    | 2 min    |
| Peripheral Speed | 52 m/sec |
| Load             | 10 N     |

실험을 할 수 있게 되어있다. 상대재료는 직경 101 mm의 실리콘 카바이드 resin-bonded 그라인딩 휠을 사용하였다. 마모 실험 조건은 Table 2와 같다.

**2-4. 분석**

다이아몬드 지립의 코팅여부를 확인하기 위해 Rigaku사의 X선 분석 회절기를 이용하여 40 KV, 10 mA조건과 Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1.547\text{\AA}$ ) 타겟으로 10-90° 영역에서 분당 4°속도로 피크를 조사하였다.

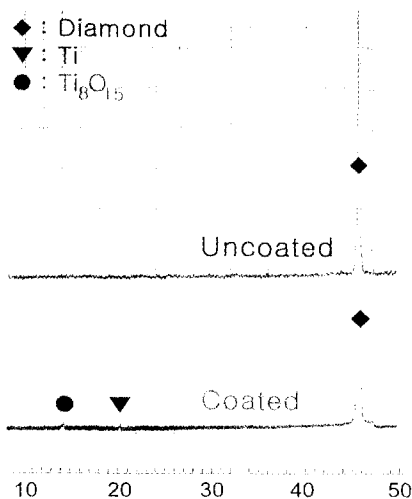
마모실험 후 마모 면의 지립과 기지를 관찰하기 위해 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 사용하였다.

마모 실험 후의 지립 상태를 광학 현미경을 이용하여 상대재인 휠과 접촉된 면의 지립의 상태를 관찰, 온전한 것, 파쇄가 일어난 것, 빠져나간 것 등으로 구분하여 단위 면적 당 각각의 상태를 수로 세어 그 비율을 비교하였다.

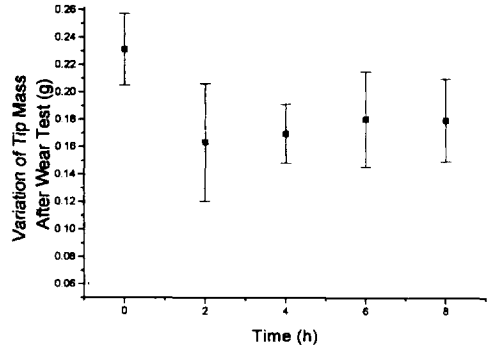
**3. 결과 및 고찰**

**3-1. X선 회절 실험**

코팅하지 않은 다이아몬드 지립과 코팅된 지립의



**Fig. 3. X-ray diffraction pattern of uncoated and coated diamond grit.**



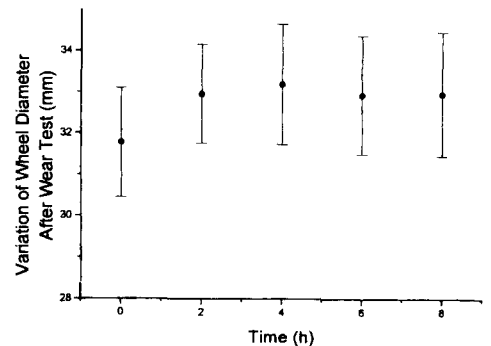
**Fig. 4. Variation of tip mass with duration of sputtering.**

X선 회절 실험 결과 Fig. 3과 같은 회절 무늬를 얻을 수 있었다. 두 무늬 모두 45.37°에서 다이아몬드 peak이 나타나며, Ti 코팅한 지립의 경우엔 20.1°와 14.47°에서 각각 Ti와 Ti<sub>8</sub>O<sub>15</sub> peak이 나타난다. 이로써 Ti가 증착되었으며, 일부는 산화되었음을 알 수 있었다.

**3-2. 마모 실험**

최적 증착 시간을 구하기 위해, 각각 다른 시간 동안 증착시킨 지립을 써서 만든 시편을 가지고 마모 실험을 하였다. Fig. 4와 Fig. 5는 증착 시간에 따른 마모 실험 후의 시편 질량 변화량과 상대재인 연마석 지름을 각각 나타낸 것이다. 이 결과는 모두 코팅한 시편과 코팅하지 않은 시편이 마모 거동이 차이가 남을 보이고 있다. 그러나 실험한 구간인 2시간에서 8시간 사이 영역에서는 코팅의 효과 차이가 크게 나타나지 않는 것으로 보인다.

Fig. 6는 4시간 코팅된 지립이 포함된 시편과 코팅



**Fig. 5. Variation of wheel diameter with duration of sputtering.**

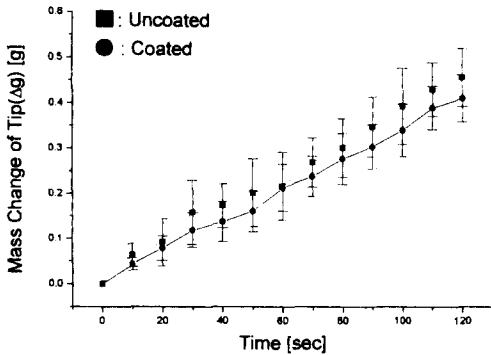


Fig. 6. Variation of mass of tip with sliding time.

되지 않은 지립을 포함하는 시편의 SiC 연마석과의 접촉 시간에 따른 시편의 질량 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 코팅한 지립을 쓴 시편이 작은 질량 변화를 나타냄을 알 수 있다. 또한, Fig. 7에서 볼 수 있는 것과 같이 절삭 시간에 따른 휠의 직경 변화는 코팅한 것이 상대적 마모의 정도를 나타내는 직경 변화가 큰 것을 알 수 있다. 코팅된 다이아몬드 지립을 포함하는 시편이 상대재의 절삭에 효과적이며 시편의 마모는 적게 시킴을 보여주는 이와 같은 결과는 다이아몬드 코팅이 효과적임을 보여주는 것이다.

3-3. 광학 및 전자 현미경 관찰

Fig. 8과 Fig. 9은 4시간 코팅한 지립과 코팅하지 않은 지립을 쓴 시편 마모면의 SEM 관찰 결과이다. 마모도가 큰 지립은 표면 관찰이 어려워 비교할 수 없으므로 절삭 과정에서 막 표면이 드러나기 시작하는 것들 중 서로 크기, 모양, 배향, 튀어나온 정도 등이 비슷한 것을 선택하였다.

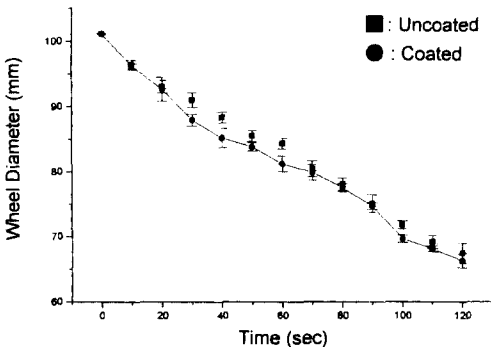


Fig. 7. Variation of wheel diameter with sliding time.

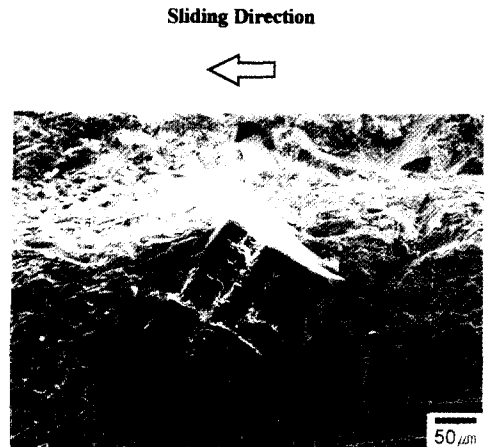


Fig. 8a. SEM image of diamond particles after wear test for specimens with coated diamond grits.

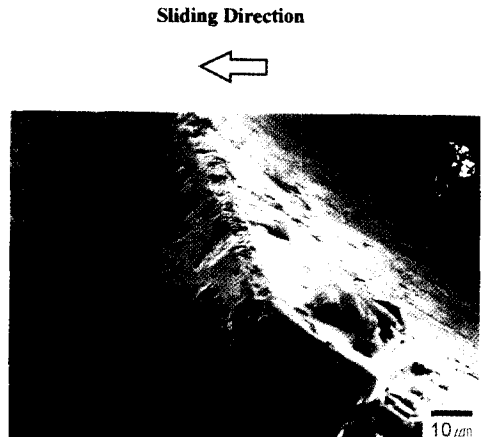


Fig. 8b. SEM image of diamond particles after wear test for specimens with coated diamond grits.

Fig. 8a와 Fig. 9a를 비교해 볼 때, 코팅한 지립은 튀어나온 높이가 더 높음에도 불구하고 절삭 방향과 반대쪽 지립과 접촉하는 기저 부분이 떨어져 나가지 않고 있으나, 코팅하지 않은 지립은 그 부분이 이미 떨어져 나간 것을 볼 수 있다.

이 부분의 고 배율 사진인 Fig. 8b와 Fig. 9b를 비교해 보면 이런 차이점을 더욱 확실하게 알 수 있다. 또한, Fig. 8b엔 코팅이 부분적으로 벗겨져 나간 모습을 볼 수 있으나, Fig. 9b의 지립 표면에서는 그런 부분이 관찰 되지 않는다. 이로써 Ti막이 코팅되었으며, 벗겨진 부분의 두께를 환산해 볼 때 코팅 층 두께는 약 1 μm임을 알 수 있다.

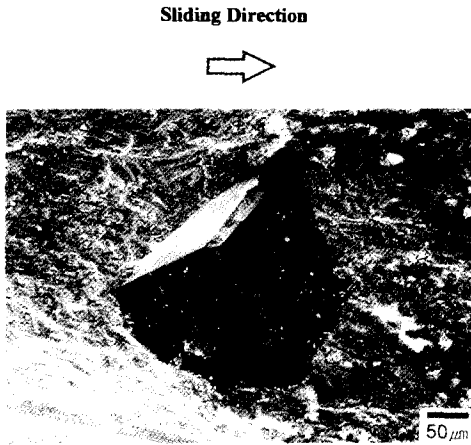


Fig. 9a. SEM image of diamond particles after wear test for specimens with uncoated diamond grits.

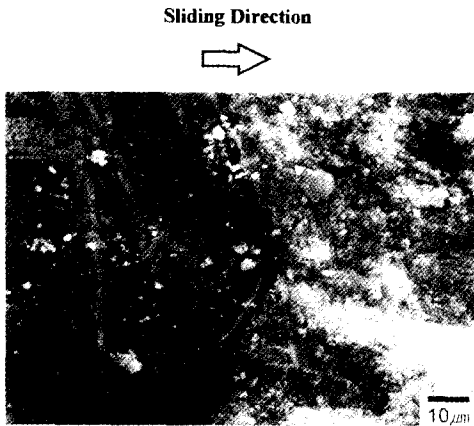


Fig. 9b. SEM image of diamond particles after wear test for specimens with uncoated diamond grits.

Fig. 10은 이러한 마모 거동을 모식적으로 나타낸 것이다. 절삭 과정 중 지립은 기지와 함께 미소 파쇄되면서 그 크기가 줄어들게 되는데, 코팅되지 않은 지립을 쓴 경우, 절삭 방향쪽과 반대쪽의 기지 부분이 거의 같은 비율로 마모되나, 코팅된 지립을 쓴 경우 기지 금속과 접착력이 좋으므로, 절삭 방향과 반대쪽의 지립 부분이 잘 떨어져 나가지 않음을 알 수 있다. 따라서 지지해 줄 수 있는 부분도 많게 되어 그림과 같이 지립 크기가 서서히 줄어든다. 또한, 코팅하지 않은 지립의 경우 박힌 부분에서 지립-기지의 접착력이 약해 이렇게 미소 파쇄되면서 절삭에 기여하기 전에 계면이 깨져 탈락 될 확률도 크다.

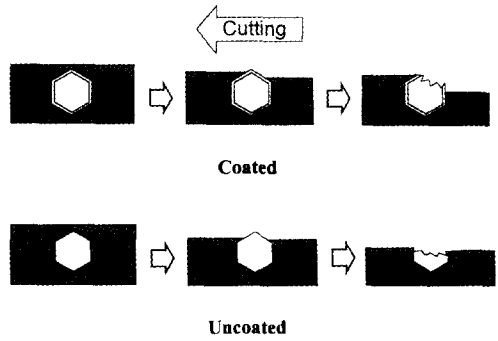


Fig. 10. Schematic diagram of wear mechanism.

Fig. 11은 마모 실험 후 시편의 마모면의 지립 상태를 현미경으로 관찰, 온전하게 존재하는 것(폴리싱된 것과 미소 파쇄된 것 포함), 반 이상 파쇄된 것, 빠져나간 것을 세어 백분율로 나타낸 것이다. 코팅된 지립을 쓴 시편의 경우 코팅 안한 경우보다 조기 탈락된 분율이 작으며 상대적으로 온전하게 존재하는 지립의 분율은 더욱 큼을 알 수 있다.

이상의 결과들을 종합해 보면, Ti 코팅한 지립을 쓴 시편의 경우, 금속 본드가 다이아몬드 지립을 더욱 단단하게 잡아주어 조기 탈락 되는 지립의 수를 줄여, 각 지립이 절삭에 기여하는 시간을 늘이므로 시편 자체는 마모가 적음에도 불구하고 더욱 큰 상대재의 마모를 나타낸다고 할 수 있다. 물론 그 차이가 크지 않지만, 실제로 절삭 작업을 할 때는 이런 시편을 여러 개 붙인 saw를 가지고 장시간 사용하므로 상당한 성능 차이가 있을 것이 예상된다.

일반적으로, 절삭 작업에는 석종, 주속, 이송 속도, 시편에 함유된 다이아몬드 분율 등에 따라 적정 주속

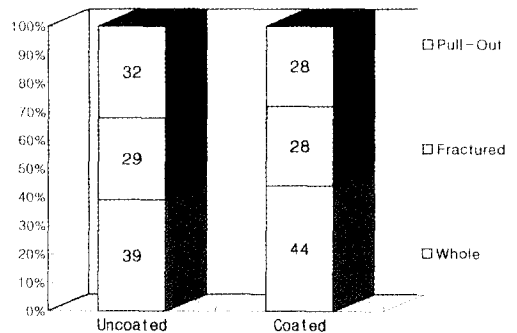


Fig. 11. Condition of diamond particles after wear test for specimens with coated and uncoated diamond grits.

이 존재하며 그 때 효율이 최대가 되며[7, 8], 이 때 지립 상태는 빠진 것 : 파쇄된 것 : 온전한 것의 비율이 1:1:1이다. 위 결과에서, 코팅되지 않은 지립을 쓴 시편의 경우 비율이 거의 1:1:1에 가깝다. 이는 현재 주속이 이 시편에 알맞음을 의미한다. 반면, 코팅된 지립을 쓴 시편의 경우, 초기에 탈락되는 지립의 비율이 적고 상대적으로 온전한 것과 파쇄가 일어난 것의 비율이 크다. 따라서, 이 시편은 현 실험 조건보다 더욱 큰 주속, 더욱 큰 하중 하에서도 높은 효율로 절삭이 가능하다.

#### 4. 결 론

Ti 코팅된 지립을 쓴 시편과 코팅 안한 지립을 쓴 시편의 마모 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

증착 시간을 달리 한 지립을 포함하는 시편들의 마모 실험 결과 실험된 영역에서는 시편에 따라 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

Ti 코팅된 지립의 경우 초기에 탈락되는 지립의 분율이 적고 상대적으로 온전한 지립의 분율이 큼으로 인해 적은 시편 마모로도 더욱 큰 상대재의 마모 결과를 얻었다. 이로써 Ti 코팅이 본드와 지립 계면을 개선하여 지립 지지 능력을 향상시킬 수 있었다. 코팅된 지립을 쓴 경우 이 실험 조건에서 온전하게 남아 있는 지립의 분율이 크고, 초기 탈락되는 것은 적으므로 다이아몬드 saw 등의 성능을 향상시키고 수명

연장에 기여할 수 있음을 보이고 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Koichi Kimura, "Method for forming metal-coated abrasive grain granules," U. S. Patent, No. 4770907, 1988
2. Roger R. Matarrese, "Dual-coated diamond pellets and saw blade segments made therewith," U. S. Patent, No. 5143523, 1992
3. South African patent application Nos. 70/3466, 70/3653, 1970
4. J. L. Murray, Binary Alloy Phase Diagrams, pp.595, 1980
5. J. L. Murray, Binary Alloy Phase Diagrams, pp.808-809, 1980
6. S. K. Bhaumik, G. S. Upadhyaya, M. L. Vaidya, "Effect of TiN addition on sintering behavior and mechanical properties of WC-10Co hard metals containing Mo<sub>3</sub>C and Ni," Journal of Materials Science, vol.27 pp.1947-1959, 1992
7. M. W. Bailey, W. D. Collin, "De Beers Titanized metal bond diamond grit and related investigations into the sawing of stone and concrete," Industrial Diamond Review, vol.38 pp.8-13, 1978
8. M. W. Bailey, G. J. Bullen, "Sawing in the stone and civil engineering industries," Industrial Diamond Review, Vol.39 pp.56-60, 1979