

OrthoMTA 컴팩터의 크리프피드 CBN 연삭을 위한 드레싱 조건 연구

맹희영^{a*}, 백은표^b

Study on Dressing Conditions for Creep-feed in Cubic Boron Nitride Grinding of OrthoMTA Compactors

Heeyoung Maeng^{a*}, Eun-pyo Baek^b^a Dept. of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science & Technology, 138, Gongneung gil, Nowon-gu, Seoul 139-743, Republic of Korea^b Graduate School, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	22	January	2014
Revised	6	February	2014
Accepted	14	February	2014

Keywords:

OrthoMTA Compactors
Tapered Helix Creep-feed Grinding
CBN(Cubic Boron Nitrided) Wheel
Green Carborundum Dressing Stone
Optimal Dressing Condition
Corner R Value of CBN Wheel

ABSTRACT

An OrthoMTA compacter is made by machining a Ni-Ti alloy wire using tapered helix creep-feed grinding machines. This aim of this study is to find the optimal dressing conditions to sharpen the corner of a cubic boron nitride (CBN) wheel. On the basis of the results of various experiments, it is verified that the most important factors in dressing are the dressing depth and feeding method, whereas the feed rate has less importance for producing a smaller corner R value. The study also finds the optimum dressing depth to reduce the dressing time, a feeding speed and method to stabilize the machining, and the mesh grade for the CBN wheel to make the groove of the compacter deeper.

1. 서론

OrthoMTA(Mineral Trioxide Aggregate) 컴팩터는 치과시술용 전동파일의 일종으로 치아 근관의 가늘고 길게 뚫려진 공간을 통해 근관치료제 약품(paste)을 밀어내기 위한 충전용 시술 기구이다. 근관에 뚫려진 긴 구멍은 보통 심한 굴곡을 갖는 경우가 많기 때문에, 이 구멍의 내부에서 컴팩터가 원활하게 회전하기 위해서는 고탄력의 높은 피로강도를 갖는 소재가 요구되어 최근에는 Ni-Ti 형상기억합금 와이어 소재가 널리 사용된다. 그리고 OrthoMTA 컴팩터는 Fig. 1과 같이 테이퍼진 헬릭스 모양의 나선 홈을 갖는데, 이는 CBN 슷돌을 사용하는 크리프-피드 성형 연삭으로 가공되고

있다^[1,2].

일반적으로 크리프-피드 성형 연삭 가공은 가공 시 높은 열이 발생하나 이와 반대로 Ni-Ti 와이어 소재는 과열되면 고유의 탄성을 잃어버리기 때문에 가공시 가공 속도를 느리게 하거나 강제 냉각 장치를 사용하여 발생 열을 극히 제한시켜야 하는 어려움이 있다^[3-5].

아울러 컴팩터의 충전 성능을 높이기 위해서는 컴팩터의 헬릭스 홈이 충분히 깊게 성형되도록 연삭해야 하는바, 이렇게 가공하려면 Fig. 2와 같은 모양의 CBN 휠을 사용하여 그 모서리 각과 코너 R이 예리하게 형성되도록 하는 드레싱 방법이 수반되어야 한다^[6-8]. 그렇지만 반대로 코너 R이 과도하게 예리한 경우에는 오히려 CBN 휠의 수명을 크게 단축시키게 되어 자주 재 드레싱(re-dressing)

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6363

Fax: +82-2-974-8270

E-mail address: maeng@seoultech.ac.kr (Heeyoung Maeng).

해야 하는 문제점이 생긴다^[9]. 그러므로 주어진 가공 조건에 대해 최적의 코너 R값을 설정하고 이 R값이 성형될 수 있도록 드레싱 조건을 정하는 것은 컴팩터를 가공하는 과정에서 가장 중요한 기술이라 하겠다^[10].

본 연구는 CBN 휠을 드레싱을 하는데 있어서, 최적의 코너 R값으로 성형할 수 있는, 드레싱 깊이와 횡수, 이송 방식, 이송 속도 등의 조건을 실험을 통해 밝히고자 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

실험 장치로는 Fig. 3(a)와 같은 CBN 성형 연삭가공 장치와 Fig. 3(b)와 같은 고유의 드레싱 장치를 설계 및 제작하여 사용하였으며^[2], 드레서로 사용된 드레싱 스톤(dressing stone)으로는 Fig. 3(b)에서 볼 수 있는 바와 같이 원통형 모양의 스톤을 사용하였는데, 그 재질과 규격은 Table 1과 같은 GC stone과 WA stone 각각 1가지를 사용하였다^[10,11]. 이때 CBN 휠은 주축의 구동력에 의해 회전하면서 일정량의 드레싱 깊이를 주어 드레싱 스톤 상부의 마찰력에 의해 자전하면서 드레싱 될 수 있도록 하였다.

CBN 휠이 드레싱 된 후 코너 R값을 측정하는 방법으로는 광학적 측정 방법을 시도하였으나, 그 값이 불규칙하고 온-머신 환경에서 측정이 어려운 관계로, 본 연구에서는 드레서 상부에 알루미늄 시험편(10×40×0.8T)을 견고하게 고정시키는 지지대를 설치하여, CBN 휠이 드레싱을 마친 후에 이 알루미늄 시험편을 3 mm 깊이로 면에 수직하게 연삭하게 하였으며, 그 연삭된 윤곽 모양을 3D Video Measuring System (VMS-1510F)으로 Fig. 4와 같이 측

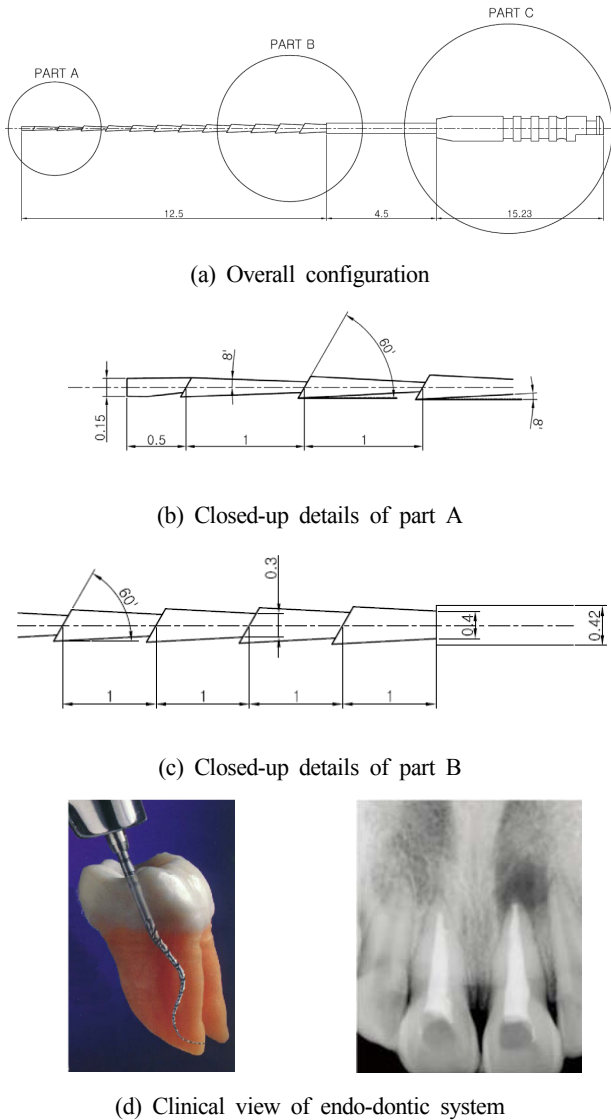


Fig. 1 Overall view of OrthoMTA compacters

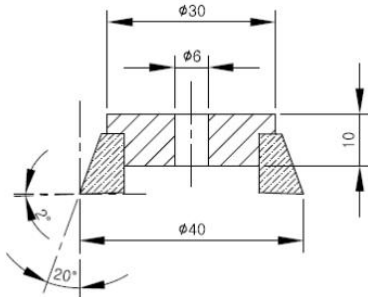


Fig. 2 Geometry and dimension of CBN wheel

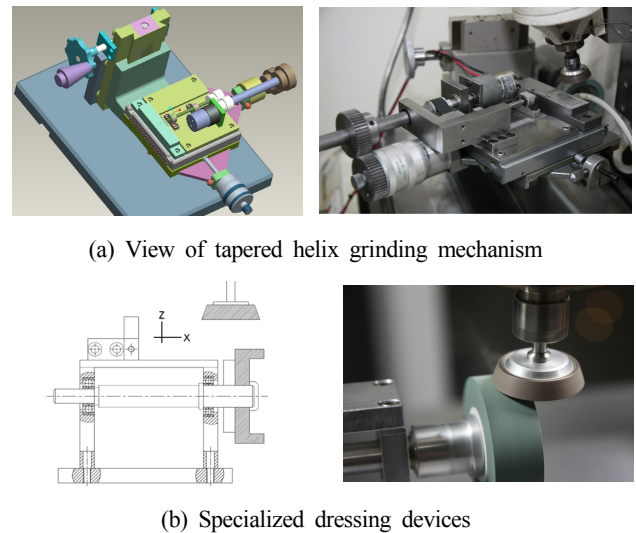


Fig. 3 Configuration of experimental apparatus

Table 1 Specification of dressing stone

	Diameter (mm)	Width (mm)	Hard-ness	Grain (#)
GC stone	65	20	H	220
WA stone	65	20	H	220

정하였다^[12].

더불어, 한 번의 드레싱 실험을 마친 후, 다음 드레싱 실험을 실시하기 전에는, S45C 시험편을 인위적으로 연삭하여 CBN 휠이 마모됨과 동시에 코너 R값이 다시 커지도록 하였으며, 매 실험 때마다 초기 코너 R값이 일관성 있게 유지될 수 있도록 주축 회전 속도, 이송 속도를 동일하게 적용하였다. 또한 이때 드레싱이 원활하게 되었는지 여부는 CBN 슷돌 모서리 부분의 표면 상태를 Fig. 5와 같이 확인하여 판단하였다.

드레싱 실험 조건으로는 주축의 이송 방식, 주축의 이송 속도, Z축 방향 드레싱 깊이 등의 3가지를 대상으로 하였으며, 이때 주축의 회전수는 18,000 rpm으로 하였다.

주축의 이송 방식에 따른 R값의 측정 실험에서는 Fig. 6과 같이 일 방향(one way) 이송 방식과 양 방향(both way) 이송 방식의

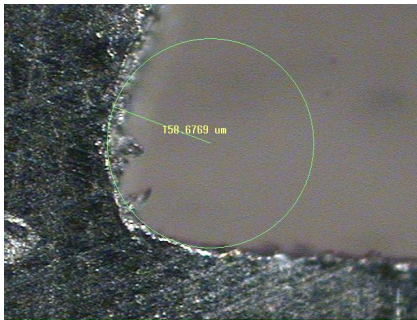


Fig. 4 Corner R value measured after dressing

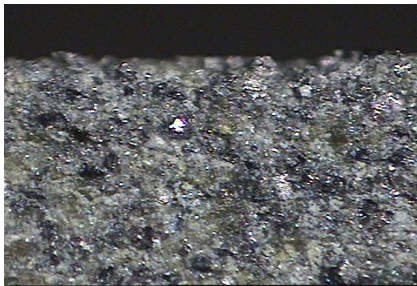


Fig. 5 Surface integrity of CBN wheel at the edge

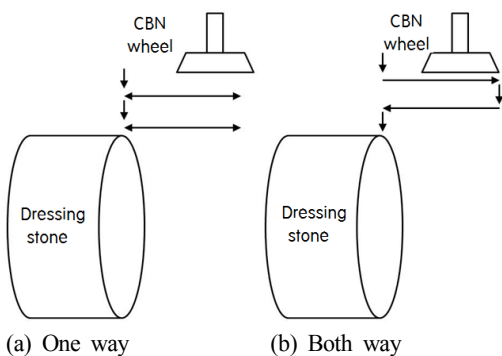


Fig. 6 Two kinds of feeding method for dressing

2가지 방식을 사용하였는데, 이때 CBN 휠은 #400으로 1.5 mm/sec의 이송 속도를 주면서 한 번의 드레싱이 이루어진 연후에 일정 드레싱 깊이(0.02~0.09 mm의 8가지 등급)만큼 절입(indepth)을 주면서 5회 반복하여 드레싱 하였다.

한편 주축의 이송 속도에 따른 코너 R값의 측정 실험에 있어서는 #400과 #600의 2가지 CBN 휠에 대하여, 이송 속도를 0.5~2.5 mm/sec까지 0.5씩 증가시킨 5가지의 이송 속도에 대하여 실험하였다. 이때 1회의 드레싱 깊이는 모두 0.02 mm로 하면서 5회 반복하여 드레싱하였고, 모두 일 방향(one way) 이송 방식을 사용하였다.

또한 Z축 방향 드레싱 깊이에 따른 코너 R값의 측정 실험에 있어서는 CBN 휠과 드레싱 슷돌이 맞닿는 기점을 기준으로 Z축 방향으로 0.01 mm씩 낮추면서 최대 0.09 mm까지 절입되도록 드레싱 실험을 실시하였다. 그리고 이 실험은 크게 3가지 유형으로 구분하여 실시하였는데, 첫 번째는 CBN 슷돌을 #400, #600로 나누어 비교하는 실험, 두 번째는 안정적 이송 상태로 예상되는 드레싱 깊이 0.04 mm, 0.05 mm의 경우에 대한 비교 실험, 세 번째는 0.04, 0.05, 0.07, 0.09 mm의 각 드레싱 깊이에 대해 언제 코너 R값이 빠르게 감소하는 지의 여부를 밝히기 위한 실험 등으로 구분하였다. 여기서도 이송 방식은 모두 일 방향(one way) 방식을 사용하였으며, 이송 속도도 공통적으로 1.5 mm/sec를 적용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 주축의 이송 방식에 따른 코너 R값의 변화 특성

일 방향(one way) 이송 방식으로 주축을 이송시키면서 드레싱하는 경우, 1회 드레싱 깊이를 0.02~0.09 mm까지 0.01 mm씩 증가시킨 8가지의 경우에 대해서, 드레싱을 1~5회까지 실시하는 동안의 CBN 휠의 코너 R값의 변화 과정은 Fig. 7과 같이 나타났다.

이 변화 특성을 살펴보면, 1회 드레싱 깊이가 크면 클수록 코너 R값은 빨리 감소하여 총 변화량도 크게 됨을 알 수 있다. 또 코너

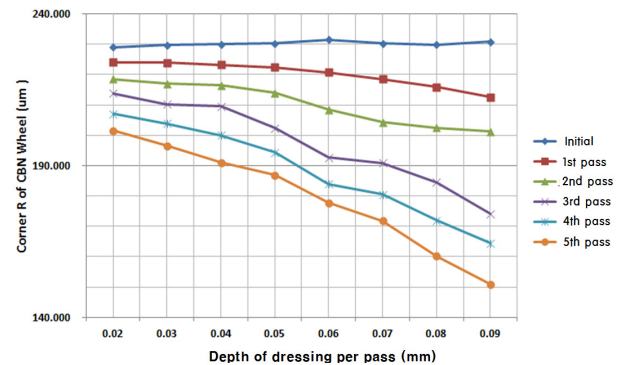


Fig. 7 The corner R value for the dressing repetitions

R값이 개선되는 과정은 드레싱 깊이가 큰 경우가 작은 경우보다 다소 불규칙하게 진전되는 현상을 보이고 있는데, 이는 주축 스핀들과 드레싱 장치에서의 동적인 불안정성에 기인한 것으로 판단된다.

한편, 일 방향(one way) 이송 방식의 결과들과 동일 기준에 따라 양 방향(both way) 이송 방식의 결과들과 비교하여 코너 R값의 개선 효과(초기 조건 대비 5회 드레싱 한 후)가 어느 정도인지를 검토하였는데, 그 결과는 Fig. 8과 같다. 전반적으로 일 방향 이송 방식은 양 방향 이송 방식에 비해 코너 R값의 개선 효과가 우수하게 나타나고 있다. 이는 CBN 휠이 드레싱 스톤을 접촉할 때 진출(exit)과 진입(entry)을 반복하면서 z방향의 처짐 또는 흔들림(run-out)이 생기기 때문으로 사료된다.

3.2 주축의 이송 속도에 따른 코너 R값의 변화 특성

CBN 휠의 입도가 #400, #600의 2가지인 경우에 대해서 0.5

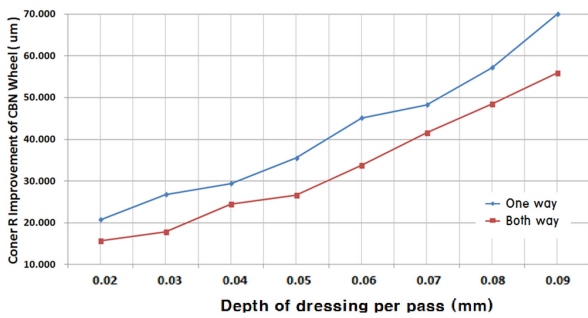
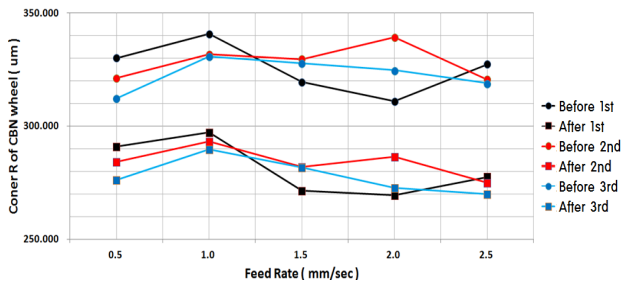
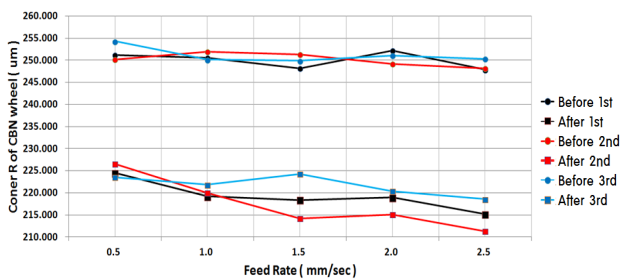


Fig. 8 Comparison of corner R improvement between one way and both way feeding method



(a) #400 CBN abrasive mesh



(b) #600 CBN abrasive mesh

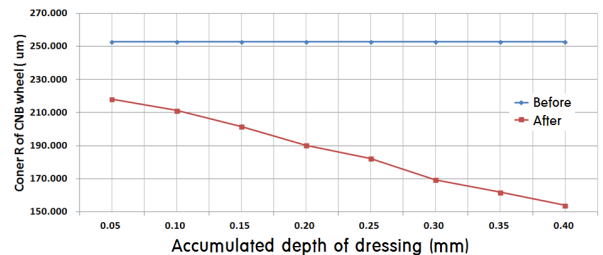
Fig. 9 Variation of corner R value with respect to the feed-rates

mm/sec부터 2.5 mm/sec까지 0.5씩 증가시킨 5가지의 주축 이송 속도에 대해 드레싱을 반복하면서 얻은 코너 R값의 변화 특성은 Fig. 9(a) 및 9(b)와 같다. 일반적으로 초기의 코너 R값은 #600인 경우가 #400인 경우보다 우수하지만, 드레싱 후의 개선량은 반대로 #400인 경우가 더 우수한 특성을 보인다.

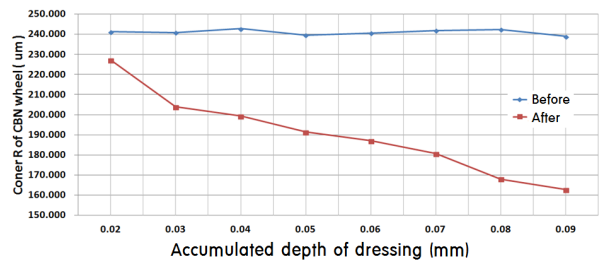
이들 변화 특성을 비교해 볼 때, 코너 R값은 주축의 이송 속도에 따라 약간의 변화는 있으나 다른 드레싱 조건에 비해서는 그 영향력이 적음을 보여 주고 있다. 그렇지만 드레싱 과정에서 주축의 동특성은 이송 속도에 따라 예민하게 영향 받고 있었는데, 이송 속도가 0.5 mm/sec에서 1.5 mm/sec의 사이로 변하는 구간에서는 안정적이었으나, 이송 속도가 2.0 mm/sec 이상일 경우에는 체터(chatter) 현상이 종종 발생하였다. 이는 주축의 이송 속도가 빨라지면서 드레싱 스톤의 회전수도 점차 빠르게 되어 주축이 튀거나 고주파 진동이 발생하는 현상이라 생각된다. 그러므로 CBN 휠과 드레싱 스톤의 상대 진동을 최대한 억제하면서 드레싱하기 위해서는 1.5~1.8 mm/sec의 이송 속도가 적당할 것으로 판단된다.

3.3 Z축 드레싱 깊이에 따른 코너 R값의 변화 특성

Z축 드레싱 깊이를 점진적으로 증가시키는 경우, CBN 휠의 입도가 #400과 #600의 2가지인 경우에 대하여, #220의 GC stone으로 드레싱 하였을 때의 코너 R값의 변화 특성은 Fig. 10과 같이 나타났다. 이는 Z축 드레싱 깊이를 0.02~0.09 mm까지 0.01 mm씩 증가시킨 8가지 경우에 대해서 드레싱을 4회 반복하여 얻은 결과이다. 이들 결과를 살펴보면, 1회 드레싱 깊이가 크면 클수록 코



(a) #400 CBN abrasive mesh



(b) #600 CBN abrasive mesh

Fig. 10 Variation of corner R value with respect to accumulated depth of dressing

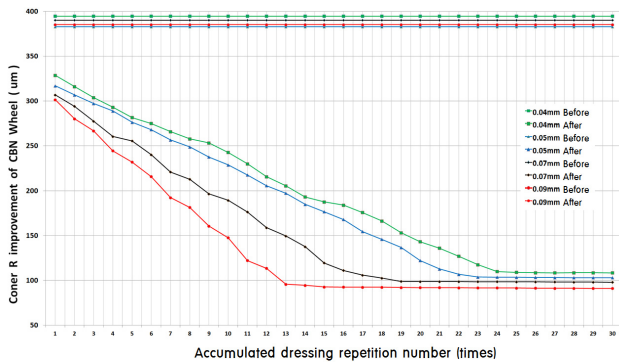


Fig. 11 Variation of corner R value w.r.t. accumulated dressing repetition number(max. 30 times)

너 R값이 빨리 감소하여 총 변화량도 크게 됨을 알 수 있다. 그리고 코너 R값이 개선되는 과정은, 동일한 반복 횟수라고 하더라도, 드레싱 깊이가 큰 경우가 더 빠르게 개선됨을 보여 주고 있다. 또 CBN 휠의 입도가 #600인 경우보다 #400인 경우가 R값의 개선량이 더 커지는 것도 확인할 수 있다.

그리고 위 실험과 동등한 조건에서, 1회 절입량을 0.04, 0.05, 0.07, 0.09 mm의 4가지 경우로 구분하여, 최대 30회 드레싱을 반복하면서 CBN 휠의 코너 R값의 변화 특성을 나타낸 결과는 Fig. 11과 같다. 여기서 CBN 휠의 입도로는 #400인 것을 사용하였으며, #220의 GC stone으로 드레싱 한 결과이다.

이들 결과를 검토해 보면, 4가지 조건의 드레싱 깊이가 모두에 대해 CBN 휠의 코너 R값은 최종적으로 비슷한 값으로 수렴해 가고 있음을 알 수 있다. 그렇지만 코너 R값이 개선되는 속도는 드레싱 깊이가 0.04 mm일 경우보다 0.09 mm일 경우가 빠르게 개선됨을 확인할 수 있는바, 드레싱 깊이가 크면 클수록 드레싱 시간을 단축시키거나 코너 R 형상을 예리하게 성형하는 데에 유리함을 알 수 있다.

이와 같은 결과들을 모두 종합해 보면, 드레싱 조건 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 1회 드레싱 깊이라 할 수 있으며, 그 다음으로 이송 방식이고, 주축의 이송 속도는 그다지 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단할 수 있다.

3.4 컴팩터 가공 개수에 따른 코너 R값의 변화 특성

드레싱 실험을 마친 다음에는 초기 코너 R값이 95 µm인 CBN 휠로 재 드레싱 없이 Fig. 3(a)에서 보았던 연삭 장치치를 통해서 실제로 총 24개의 컴팩터를 creep feed 나선 홈 연삭을 실시하였는데, 가공 길이 21 mm를 1개씩 가공할 때마다 CBN 휠이 마모됨에 따라 코너 R값이 커지는 특성을 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 12와 같이 나타났다. 이 결과를 살펴보면, 가공 횟수가 증가하면 할수록 CBN 슷들은 1~24회 가공을 진행하는 동안 점진적인 마멸적

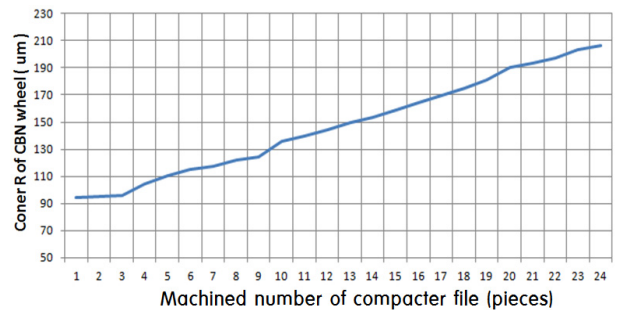
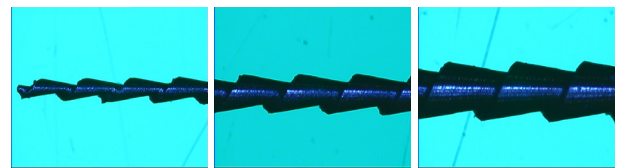
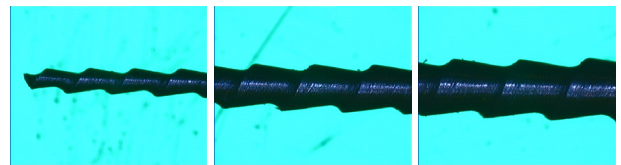


Fig. 12 Corner R value growth when the compacter are machined repeatedly



(a) 1st machined sample



(b) 24th machined sample

Fig. 13 Views of compacter grooves after when the first and 24th compacter are machined

마모가 이뤄지고 이에 따라 코너 R값도 거의 선형적인 증가 추세를 보이고 있음을 알 수 있다.

울러 헬릭스 나선 홈의 가공 상태를 알아보기 위해 첫 번째로 가공한 컴팩터와 24번째로 가공한 컴팩터의 초기부, 중간부, 몸체부의 가공 상태를 광학 현미경으로 촬영하여 비교하였는데, 그 결과는 Fig. 13에서 보는 바와 같다.

이 두 가지 경우를 비교해 보면, 코너 R값의 크기가 커짐에 따라 컴팩터의 가공된 헬릭스 홈 깊이와 모양이 매우 둔화되어 가공되고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 이와 같은 가공 상태와 컴팩터의 충전 성능을 고려하여 컴팩터의 허용 가능한 홈 깊이를 설정하게 되면 CBN 휠의 드레싱을 위한 코너 R값에 대한 허용 한계치도 정할 수 있게 되며, 또한 위의 실험 데이터를 참조로 하여, 이 코너 R값의 허용 한계치로 드레싱하기에 적합한 드레싱 조건과 CBN 휠의 수명도 찾을 수 있을 것이라 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 Ni-Ti 와이어 소재를 크리프 피드 연삭을 통해 깊은

홈을 가공하여 충전 성능이 우수한 BioMTA 컴팩터를 가공하고자 하였으며, 이를 위해 CBN 휠의 최적의 코너 R값을 성형할 수 있는 드레싱 깊이와 횡수, 이송 방식, 이송 속도 등의 드레싱 조건을 실험을 통해 밝히고자 하였다.

CBN 휠의 코너 R값을 개선시키기 위한 드레싱 조건 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 드레싱 깊이였으며, 다음으로는 이송 방식이었고, 주축의 이송 속도는 그다지 큰 영향을 주지 않는 것으로 확인할 수 있었다. 일반적으로 이송 방식에 있어서는 일 방향 이송 방식이 양 방향 이송 방식에 비해 진동이나 파손의 발생없이 R값의 개선 효과가 우수함을 볼 수 있었으며, 주축의 이송 속도는 그 영향력은 적으나 1.5~1.8 mm/sec의 이송 속도를 유지하여야 동적으로 안정적인 드레싱을 할 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 드레싱 깊이가 CBN 휠의 코너 R값에 미치는 영향에 있어서, 드레싱 깊이가 크면 클수록 드레싱 시간을 단축시키거나 코너 R 형상을 예리하게 성형하는 데에는 유리함을 알 수 있었으며, CBN 휠의 입도가 #600인 경우보다는 #400인 경우가 더 개선 효과가 좋음을 확인할 수 있었다.

또한 드레싱 실험을 마친 다음, 초기 코너 R값이 95 μm 인 CBN 휠로 총 24개의 컴팩터를 연속한 실험에 있어서는 1~24회의 가공을 진행하는 동안 점진적인 마멸적 마모가 이뤄지고 있었으며, 이에 따라 코너 R값도 거의 선형적으로 증가하는 추세를 확인할 수 있었으며, 첫 번째로 가공한 컴팩터와 24번째로 가공한 컴팩터의 가공 상태를 비교한 결과, 코너 R값의 크기가 커짐에 따라 컴팩터의 가공된 헬릭스 홈 깊이와 모양은 매우 둔화되어 가공되고 있음을 확인할 수 있었다.

이상과 같은 결과들은 충전 성능을 고려하여 컴팩터 홈 깊이의 허용치를 정한다던지 CBN 휠의 드레싱을 위한 적정 코너 R값, 그리고 이 값을 도출하기에 적합한 드레싱 조건을 찾아내기 위한 자료로 활용될 수 있을 것이라 기대된다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Lee, Y. W., Kim, J. W., Jung, W. K., 2007, Development of CNC Creep-Feed Grinding Matching and Determination of Dressing Conditions using Continuous Dressing, J. of the Korean Society for Precision Engineering, 24:6 51-57.
- [2] Maeng, H., Baek, E. P., Yoon, S. H., 2012, Dressing Characteristics of Resinoid-Bond CBN Wheel to Sharpen the Corner Radius, Int. Conf. of Manufacturing Technology Engineers, 2012, 139-139.
- [3] Lee, Y. W., Jeong, J. U., Kim, J. K., Jung, Y. K., 2006, A Study on the Development and Grinding Test of CNC Creep Feed Grinding Machine using Continuous Dressing, The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 15:5 201-206.
- [4] Ha, M. K., Kwak, J. B., Lee, Y. S., Koo, Y., Yoon, M. C., 2002, Evaluation of Surface Roughness and Grinding Force using CBN Wheel, J. of the Korean Society of Precision Engineering, 19:2 58-64.
- [5] Won, J. H., Kim, G. H., Park, W. G., An, B. M., Park, S. S., Lee, J. O., Cho, J. H., 2001, Grinding Characteristics of Resinoid Bond CBN Wheel, J. of the Korean Society for Precision Engineering, 18:5 870-874.
- [6] Ha, M. K., Kwak, J. S., Yang, J. Y., Jung, Y. D., Sim, S. B., Ryoo, I. I., 2002, Characteristics of Grinding Force and Surface roughness by CBN and WA Wheel, Trans. of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 11:1 26-31.
- [7] Maeng, H., Baek, E. P., Yoo, J. S., 2010, Development of Grinding Mechanism for the OrthoMTA Compacters, The Spring Conference of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 214-217.
- [8] Lee, Y. W., Kim, J. K., Jung, Y. K., 2007, Development of CNC Creep Feed Grinding Machine and Determination of Dressing Conditions using Continuous Dressing, J. of the Korea Society for Precision Engineering, 24:6 51-57.
- [9] Hong, S. I., Kim, N. K., Hur, N. S., Song, J. B., 1998, Energy Partition to Workpiece in Creep Feed Grinding, J. of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 7:6 42-48.
- [10] Lee, H. G., Lee, Y. M., Bae, D. W., Jang, J. H., Hwang, G. S., Son, S. P., 2005, Specific Grinding Energy Characteristics of Hardened Steel with WA and CBN, The Spring Conference of Korean Society of Machine Tool Engineers, 296-300.
- [11] Gong, J. H., Ryu, B. H., So, E. Y., Lee, K. S., Yu, E. Y., Hong, S. L., 2002, Wear Characteristics of Diamond Wheel according to Bond in Ceramic Grinding, Trans. of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 11:4 75-81.
- [12] Choi, S. K., Hong, S. K., Choe, J. C., 1995, The Fabrication and Grindability of Diamond Wheel Bonded with Heat Resistance Aluminum Alloy, J. of Korean Powder Metallurgy Institute, 2:2 142-148.