

論文

전해드레싱을 적용한 유리섬유강화 플라스틱의 연삭가공 특성에 관한 연구

안상옥* · 노상래**

A Study on the Grinding Characteristics of Glass Fiber Reinforced Plastics with Electrolytic In-process Dressing

Sang-Ook An* and Sang-Lai Noh**

ABSTRACT

GFRP have attracted increasing attention for use in load-bearing components, particularly in the aerospace industry. This material has many excellent properties, such as high specific strength, high specific modulus of elasticity, light weight and good corrosion resistance. But the machining GFRP is often made difficult by the brittleness of glass fiber and the delamination of composites.

In this study, the machinability of GFRP by mean of metal bonded superabrasive diamond wheel and electrolytic dressing system was experimentally investigated. Using this system the grinding force and surface roughness in the grinding of GFRP was improved.

초 록

유리섬유 강화 플라스틱은 높은 비강도와 고탄성, 경량 그리고 내부식성 등과 같은 많은 우수한 특성을 갖고 있기 때문에 항공우주산업 분야에서 사용이 날로 증가하고 있다. 그러나 유리섬유의 취성과 복합재료의 층간박리 등에 의하여 가공하기가 매우 어려운 난삭재이다.

본 연구에서는 금속결합 초지립 다이어몬드 지석과 전해드레싱 방법을 이용하여 유리섬유 강화 플라스틱에 대한 가공성을 실험적으로 조사하였다.

유리섬유 강화 플라스틱의 연삭에 연속적인 전해드레싱을 적용함으로써 연삭력과 가공면의 표면거칠기가 향상되었다.

1. 서 론

최근에 첨단산업의 발달로 인한 복합재료의 사용이 급증하고 있으며, 특히 유리섬유강화 플라스틱(GFRP, Glass Fiber Reinforced Plastics)의 용도가 다양해서 항공 및 레저산업 등에 널리 사용되고 있다. 유리섬유강화 플라스틱의 특성은 일반 금속재료 보다 비강도, 전기전열성, 높은 감쇠특성

및 내충격성[1]을 갖고 있으나 가공시 유리섬유에 의한 공구의 마멸을 유발[2] 하여 가공이 용이하지 않다. 유리섬유강화 플라스틱을 기계부품에 적용하려면 다른부품과 결합이 필요하며, 이 경우에 유리섬유강화 플라스틱의 절삭 및 연삭등의 가공이 필요하다. 따라서, 이러한 복합재료의 다듬질가공을 위해서 연삭특성에 관한 연구가 필요하게 되었다. 그러나, 가공시 급속한 공구마멸, 표면거칠기

* 인하대학교 기계공학과

** 대우공업전문대학 금형설계과

악화, 크랙이나 층간박리등 문제점[3]이 발생하는 가공성이 어려운 난삭재로서 정밀한 가공면을 얻기는 어려운 것으로 알려져 있다.

복합재료의 정밀 표면을 얻기 위한 연삭가공에는 초지립(superabrasive) 지석을 사용하여야 가능하며, 초지립 다이아몬드 지석을 사용하여 연삭할 경우 눈매움(loading) 및 날무디어짐(glazing)에 의한 드레싱에 상당한 난점을 갖고 있다[4]. 이러한 현상을 방지하기 위해서 연속적인 드레싱이 매우 중요하게 되었다. 스틱형태의 호닝숫돌을 공작물 측면에 장착하여 연삭가공중 연삭테이블의 이동으로 드레싱이 되는 기계적인 드레싱이 있으며, 방전가공 원리를 적용한 연삭 지석의 드레싱 방법도 제안되었다[5, 6]. 가공중 계속되는 드레싱의 한 방법으로 금속결합제 지석 주위에 전극을 설치하고, 지석회전과 동시에 전해액을 그 사이에 통과하게 하여 펄스전원을 인가함으로써 전기분해 작용에 의한 드레싱을 하는 인프로세스 전해드레싱 방법[7, 8]이 최근에 발표되어 우수한 성능을 나타내고 있다. 전해드레싱은 전기분해 작용에 의해서 지석의 금속결합제가 이온용출되어 제거됨으로서, 결합지력이 약해져서 무디어진 연삭날이 제거되는 공정을 반복하게 되어 눈매움 및 날무디어짐 현상을 방지하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 전해드레싱 방법을 적용하여 현재 수요가 급증하고 있는 난삭재인 유리섬유강화 플라스틱의 연삭가공 실험을 수행하였으며, 전해드레싱 적용시 가공특성 및 결과를 분석함으로써 유리섬유강화 플라스틱의 전해드레싱 적용성을 고찰하였다.

2. 전해드레싱 원리

전해드레싱은 전기분해작용에 의해서 지석의 마멸된 연삭입자가 제거되고 새로운 입자가 재생되어 마멸되지 않은 연삭입자에 의해서 연삭이 가능하여 양호한 가공표면을 기대할 수 있다. Fig.1은 전해드레싱의 개략도를 나타낸 것으로서 연삭 지석의 결합제는 금속결합제로 구성되어 있어서 통전이 가능하며, 전해드레싱 전원을 양극으로 공급하고, 전극(electrode)은 음극과 연결하고 두전극사이에 전해액을 공급하면 전극의 작은 틈사이에서 전기분해작용이 일어나게 된다. 정밀 연삭 및 정확한 연속 전해드레싱을 위해서는 지석의 편심등을

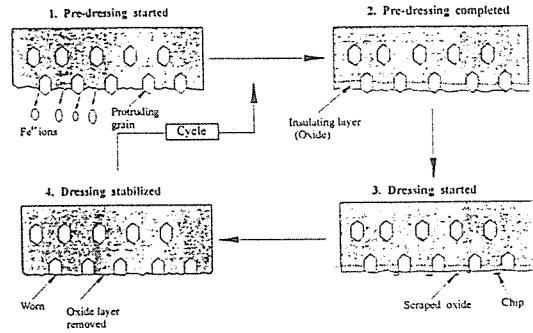
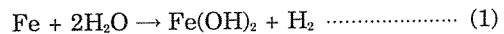


Fig. 1. Schematic diagram of the mechanism of electrolytic dressing[7].

줄이고, 지석의 편평도를 유지하기 위한 트루잉작업이 사전에 이루어져 한다. 1단계는 정밀한 트루잉후 전해드레싱을 수행하기 전에 약 10-20분 정도의 전해드레싱 적용연삭 전드레싱(pre-dressing)을 수행하는 것으로서, 연삭지석의 금속결합제가 전해작용에 의해 Fe²⁺로 이온화 되어 용출된다. 이때 양극에서 Fe가 전해용출하고, 음극에서는 수소가스가 발생된다.



제2단계는 이온화된 Fe는 산화물인 Fe(OH)₂ 또는 Fe(OH)₃로 되고, 물의 전해작용에 의해 절연물인 Fe₂O₃산화물로 변해 지석 표면에 응착된다. 일정한 연삭입자만 돌출을 시킨후 산화 절연물로 인하여 전해용출이 정지하게 된다. 제3, 4단계에서는 계속하여 연삭을 진행하면서 전해드레싱(electrolytic in-process dressing)을 수행하는 단계로서, 다이아몬드 지석 표면의 산화피막이 조금씩 제거되어 전기가 반복하여 통전하게 되면 전해용출이 회복된다. 마멸된 지석입자는 금속결합제의 지지력이 약해짐에 따라 방출되고 새로운 입자가 생성되어 연삭입자의 날 무디어짐 현상을 방지하게 되어 공작물의 연속적인 연삭이 가능하게 된다. 또한, 금속결합제의 용출에 의해서 가공된 연삭칩이 지석표면에 응착하지 않고 금속결합제와 같이 제거됨으로서 연삭날의 눈매움 현상을 방지하게 된다. 이러한 미시적 드레싱 사이클에 의해 연속적인 전해드레싱이 진행된다.

3. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용한 유리섬유강화 플라스틱은 평면사각형태로 유리섬유의 각도는 0°, 45°, 90° 인 시편을 사용하였다. 공작물의 물리적인 성질은 Table 1과 같다. Fig.2는 가공실험을 수행한 전해드레싱 시스템장치를 나타낸 것으로서 전해드레싱 전극은 동(99%)을 사용하여 지석 외주에 제작 설치하였고, 다이아몬드 연삭지석의 직경 외주면에 대하여 0.1mm의 틈새를 두어 가공한 후 조립하였다. 지석의 결합제 성분은 주철을 사용하여 통전이 가능하도록 하였다. 연삭기는 평면연삭기에 전극과 부속장치를 부착하였으며 전기분해 작용을 위한 전해액 공급용 노즐과 원활한 연삭을 위한 연삭유 공급용 노즐도 각각 전극주위에 장착하였다. 전

해작용을 위한 전원공급 장치는 출력방식이 DC 펄스이며, 전해드레싱 전류와 전압을 측정할 수 있는 전압계와 전류계가 부착되어 있다. Table 2는 가공한 실험조건 및 장치를 나타내고 있다. 전해드레싱을 위한 전해액은 연삭유제 (수용성 3종, 50 : 1로 희석)로 사용하였고, 지석의 진원을 얻기 위한 과정으로서 경취재료의 경면연삭에 큰 영향을 미치는 트루잉은 GC80숫돌을 이용하여 수행하였다. 연삭력 측정을 위해서 척위에 공기동력계를 설치하고 A/D변환기와 퍼스널 컴퓨터를 이용하였다. 연삭 가공면의 표면거칠기를 측정하기 위해서 표면거칠기 측정기를 사용하였으며 가공면의 표면을 5번 측정하여 평균을 취하였다. 또한, 유리섬유강화 플라스틱의 가공 정도와 표면 분석을 위하여 광학현미경을 사용하였다.

Table 1. Physical properties of GFRP

| | |
|---|---------|
| Specific weight (g/cm ³) | 2.5 |
| Tensile strength (N/mm ²) | 1800 |
| Young's modulus (N/mm ²) | 74000 |
| Thermal coefficient of expansion (m/mK) | 5 |
| Thermal conductivity (°C) | 0.8 |
| Glass Fiber | E-glass |

Table 2. Experimental conditions

| | |
|------------------------------------|---|
| Grinding Machine | Surface Grinding Machine (WGS-64) |
| Wheel | D8000 |
| Wheel Speed | 2850 rpm |
| Electrolytic Fluid | Solution type (50:1) |
| Electrolytic Dressing Power Source | Ip = 0~20 A τ on/off = 1~20μ sec |
| Electrode | Copper |
| Surface roughness tester | Mitutoyo Surftest-402 |
| Tool dynamometer | Kistler 3-Component Dynamometer Type. 9257B |

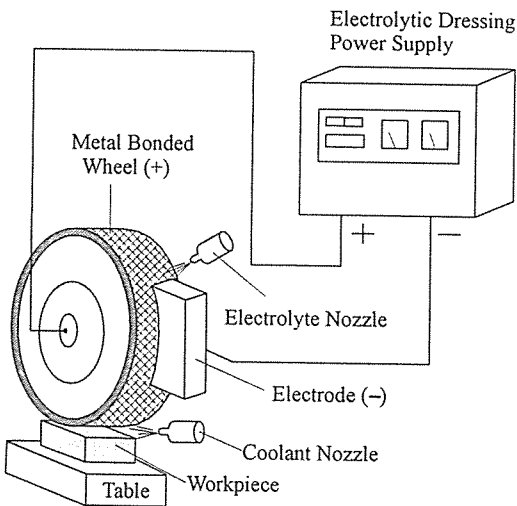


Fig. 2. Schematic of experimental setting for grinding with electrolytic dressing.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 연삭력의 분석

Fig.3은 연삭깊이에 따른 수직연삭력 값의 변화를 나타낸 것으로서 전해드레싱을 적용하여 연삭을 수행한 경우와 적용하지 않은 경우를 비교하였다. 각 연삭력의 값은 측정된 평균값으로 나타내었으며 연삭가공 방향은 공작물 표면의 유리섬유와 수직인 상태에서 가공을 수행하였다. 연삭깊이의 변화에 따라서 전해드레싱을 수행하면서 가공한 수직방향 연삭력 측정값이 드레싱을 수행하지 않은 측정값보다 모든 연삭깊이에서 적게 나타났으

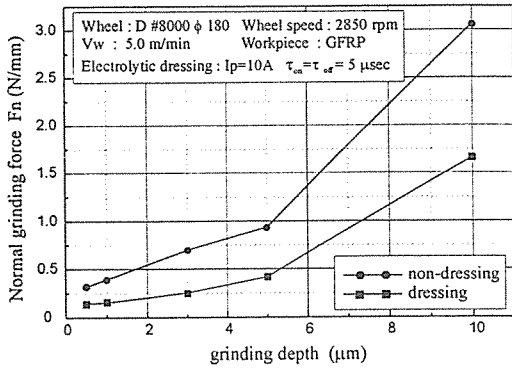


Fig. 3. Relationship between normal grinding force and grinding depth.

며, 약 50%정도의 수준을 보이고 있다. 이 현상은 전해드레싱을 가공중에 연속적으로 수행함으로써 마멸된 연삭입자의 탈락 및 금속결합제 전해용출에 의한 눈매움 현상을 방지하게 되는 결과로 사료된다.

Fig.4는 연삭깊이에 따른 수평연삭력의 변화 추이를 나타낸 것으로서, 수직연삭력과 유사한 결과인 전해드레싱을 수행하지 않은 경우가 수평연삭력이 보다 크게 나타나고 있다. 연삭가공시 유리섬유에 계속된 가공에 의한 연삭입자의 날무디어짐 현상이 발생하고, 플라스틱재의 지석표면에 응착 등 현상이 발생하나 가공중 연속적인 드레싱을 하지 않으면, 이러한 현상에 의해서 연삭력이 상승하

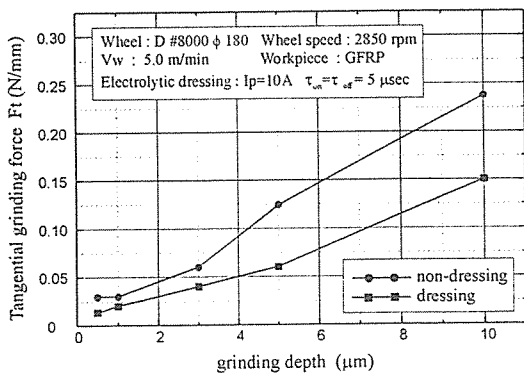


Fig. 4. Relationship between tangential grinding force and grinding depth.

게 된다. 따라서, 유리섬유강화 플라스틱 가공중 연속적인 전해드레싱을 한 경우는 날무디어짐 및 눈매움 현상을 방지케 되어 모든 연삭깊이에서 연삭력 저감효과를 나타내게 되었다.

Fig.5는 연삭깊이를 5μm로 고정하고 연삭제거량 증가에 따른 수직연삭력 변화 추이를 측정하여 나타낸 것으로서, 전해드레싱을 적용한 경우와 적용하지 않은 일반연삭을 비교하였다. 연삭가공중 전해드레싱을 적용하지 않은 경우에는 전해드레싱을 적용한 경우보다 수직연삭력 값보다 크게 나타났으며, 연삭제거량의 증가됨에 따라 드레싱을 하지 않은 것은 수직연삭력 증가 추세를 나타내고 있다. 그러나, 연속적인 전해드레싱을 한 경우에는 연삭제거량 증가에 따른 연삭력은 거의 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. 이 현상은 누적 연삭량이 증가할수록 전해드레싱을 적용하지 않은 경우에는 연삭날의 마멸이 증가되고, 연삭칩의 눈매움등의 현상이 발생하게 되어, 유리섬유강화 플라스틱의 연삭력에 나쁜영향을 미치게 된다. 따라서, 연삭가공시 연속적으로 전해드레싱을 적용하는 것이 연삭제거량에 따른 연삭력의 안정성에 양호한 결과를 미침을 알 수 있다. 여기서 전해드레싱시 펄스폭과 휴지폭은 5μsec로 일정하게 고정하고, 피크전류값은 10A를 적용시켰다.

Fig.6은 연삭량의 증가에 따른 수평연삭력의 변화를 나타낸 것으로서, 전해드레싱이 없는 경우에는 연삭량이 증가될수록 수평연삭력이 증가되는 경향을 보이고 있으며, 전해드레싱을 적용하여 연삭을 한 경우에는 수직연삭력의 경향과 같이 일정한 연삭력을 유지하게 된다. 연삭가공중 연속적인

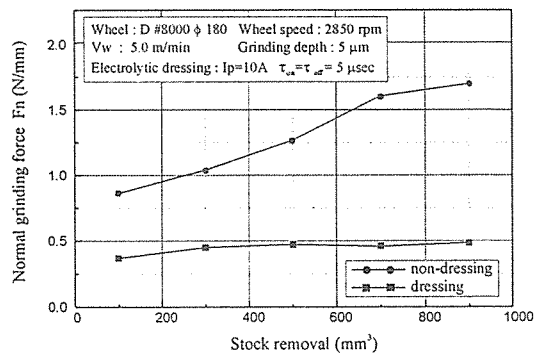


Fig. 5. Relationship between normal grinding force and stock removal.

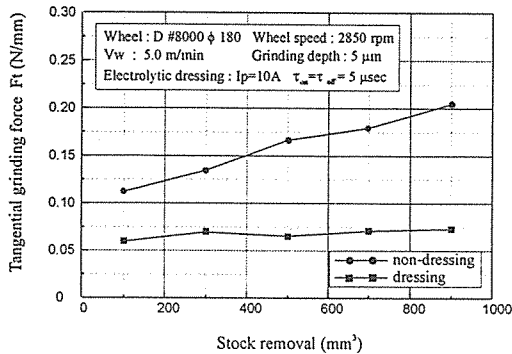


Fig. 6. Relationship between tangential grinding force and stock removal.

전해드레싱을 수행하였을 경우에는 적절한 연삭입자돌출이 확보되기 때문에 양호한 절삭날을 기대할 수 있고 절연 산화막이 눈매움 현상을 방지해주기 때문에 전해드레싱 이용시 일반 연삭에 비하여 상당한 하중감소와 저하중의 유지효과가 있음을 본 실험결과를 통해서 알 수 있다. 따라서, 전해드레싱을 적용하여 유리섬유강화 플라스틱등의 복합 재료를 연삭가공을 하는 것이 수직 및 수평 연삭력 저하등에 양호한 영향을 미치게 된다.

4-2. 연삭방향에 따른 영향

본 연구에 적용한 유리섬유강화 플라스틱은 취성재인 유리섬유를 연성재인 플라스틱에 복합강화시킨 형태로서 공작물 표면에는 유리섬유를 강화시킨 방향성을 갖게 된다. 이러한 섬유방향에 따른 연삭성을 고찰하고자 각각 유리섬유와 0°, 45°, 90° 방향에 따른 연삭가공을 수행하여 연삭력의 변화와 표면거칠기 값을 비교하였다.

Fig.7은 유리섬유강화 플라스틱의 유리섬유와의 연삭방향에 따른 수직 및 수평연삭력의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 각각 방향에 연삭가공은 모두 전해드레싱을 적용하였으며, 연삭깊이는 5μm 로 고정하였다. 0°, 45°, 90° 방향에 따라서 수직연삭력 및 수평연삭력이 모두 유사한 결과를 나타내고 있다. 이는 유리섬유의 방향에 따라서는 전해드레싱을 적용시킬 경우 연삭력에 큰 영향을 주지 않음을 나타내는 결과이다.

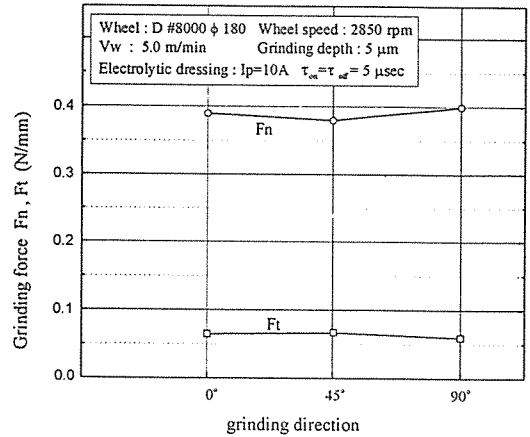


Fig. 7. Relationship between grinding force and grinding direction.

Fig.8은 각각 유리섬유와 0°, 45°, 90° 연삭방향에 따른 연삭면의 표면거칠기를 측정된 것을 나타낸 것이다. 각각 결과를 비교하면 유리섬유 방향에 대해서 수직인 90° 방향의 표면거칠기가 가장 양호하게 나타내었으며, 0° 방향의 연삭한 표면거칠기보다 약 2배의 양호한 현상을 나타내고 있다. 따라서, 전해드레싱을 연속적으로 수행하여 연삭한 상태에서 유리섬유강화 플라스틱의 표면거칠기는 유리섬유 연삭방향에 따라 크게 변화됨을 알 수 있다. 이 현상은 유리섬유 방향과 같은 연삭방향인 0°

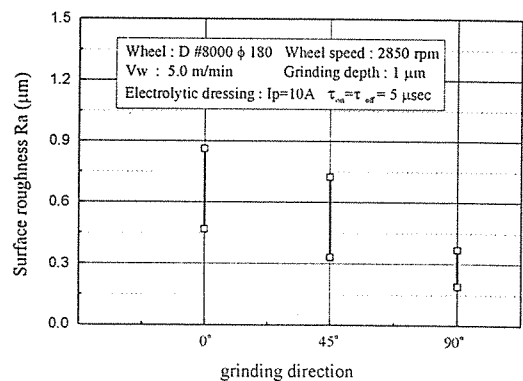


Fig. 8. Relationship between surface roughness and grinding direction.

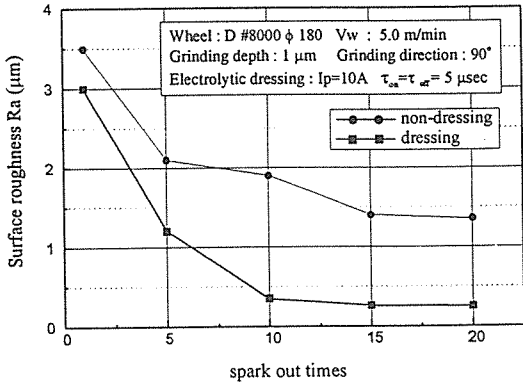
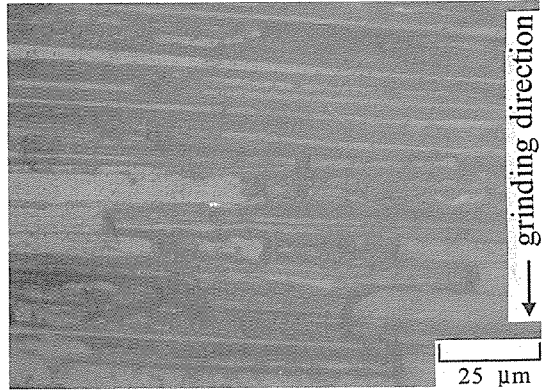


Fig. 9. Relationship between surface roughness and spark out times.

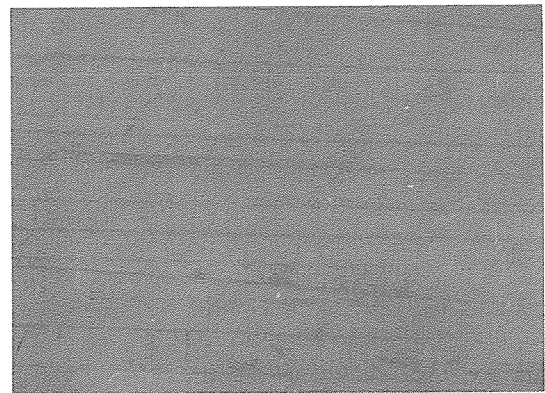
의 연삭이 수행될 경우에는 연삭입자가 유리섬유 또는 플라스틱을 각각 개별적으로 제거하는 가공이 이루어지게 되며, 이때 내마멸성이 약한 연질의 플라스틱이 보다 깊이 제거되어 유리섬유가 연삭 가공전에 표면에 돌출되는 현상등에 의해서 표면 거칠기가 악화되는 것으로 판단되며, 또한, 90° 연삭방향에서는 연삭입자가 유리섬유와 플라스틱을 각각 순차적으로 제거하는 형태를 갖게 되어 양호한 표면거칠기를 나타내게 되는 것으로 사료된다. Fig.9는 유리섬유와 수직 연삭방향이 표면거칠기에 보다 양호한 현상을 나타내게 됨으로서 연삭방향을 공작물 표면의 유리섬유와 90° 방향을 유지한 상태에서 전해드레싱을 적용성을 고찰한 것이다. 연삭가공횟수를 증가시킴에 따라서 전해드레싱을 적용한 표면거칠기는 약 0.25µm까지 향상되었으며 반면 전해드레싱을 적용하지 않은 표면거칠기는 연삭가공횟수 증가에 따라 약간의 가공면 (1.4µm) 향상을 관찰 할 수 있다. 따라서 전해드레싱을 적용시키는 것이 복합재료인 유리섬유강화 플라스틱 가공 표면거칠기에 양호한 영향을 미치게 됨을 알 수 있다.

4-3. 가공표면의 광학현미경 분석

Fig.10은 전해드레싱을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 표면을 광학현미경으로 관찰 한 것으로서, 전해드레싱을 적용한 가공표면은 유리섬유



(a) non-dressing

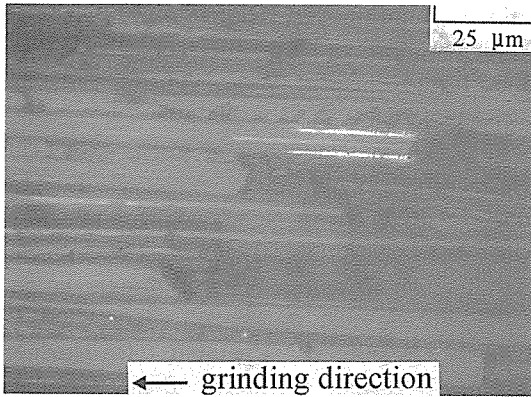


(b) dressing

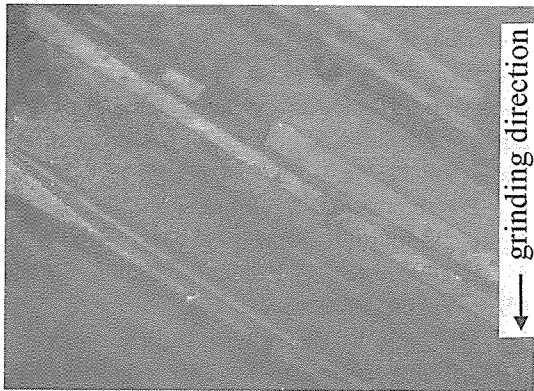
Fig. 10. Micrograph of ground surfaces according to electrolytic dressing.

Wheel: D #8000 φ 180 Workpiece: GFRP
 Vw: 5.0 m/min Grinding depth: 1µm
 Grinding direction: 90° Electrolytic dressing: Ip=10A τon=τoff=5µsec

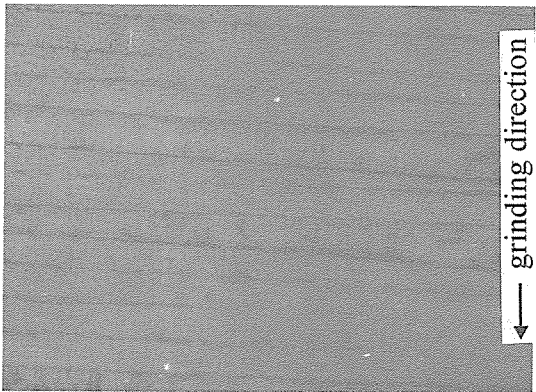
및 플라스틱이 일정하게 잘 연삭되어 표면에 유리섬유의 돌출 및 플라스틱 표면손상등의 현상을 보이지 않는다. 그러나 전해드레싱을 적용하지 않은 경우에는 표면에 유리섬유가 관찰되며, 또한 표면에서 깨져서 탈락되어 있는 현상을 볼 수 있다. 이 현상은 연속적인 드레싱이 이루어지지 않아서 연삭입자 날이 무디어짐 및 연삭날 눈매움에 의해서 플라스틱 표면이 굵히고 유리섬유가 탈락되는 현상을 나타내었다. 따라서, 전해드레싱을 적용하는 것이 유리섬유 및 플라스틱의 가공 표면에 양호한



(a) 0°



(b) 45°



(c) 90°

Fig. 11. Micrograph of ground surfaces according to grinding direction.
Wheel: D #8000 ϕ 180 Workpiece: GFRP
Vw: 5.0 m/min Grinding depth: 1 μ m
Electrolytic dressing: Ip=10A $\tau_{on}=\tau_{off}=5\mu$ sec

영향이 있었음을 광학현미경의 관찰을 통해서 알 수 있다.

Fig.11은 유리섬유의 따른 연삭방향의 가공한 것을 광학현미경으로 관찰 한 것으로서, 90°방향의 연삭가공면에 비해 0°방향 연삭가공면에는 국부적으로 플라스틱이 보다 깊게 가공되어 있음을 관찰 할 수 있으며 유리섬유가 잘 가공되지 않은 상태에서 표면에 돌출되어 있음을 볼 수 있다. 또한, 45°방향에서도 일정한 가공표면을 보이고 있지 못하다. 90° 연삭방향에서는 연삭입자가 유리섬유와 플라스틱을 각각 순차적으로 제거함으로써 양호한 가공면을 나타내게 되었다. 따라서, 광학현미경으로 관찰 한 결과에 따라서 유리섬유강화 플라스틱의 연삭가공에 있어서는 유리섬유와 수직인 방향의 연삭가공이 가장 적합하다고 하겠다.

Fig.12는 유리섬유강화 플라스틱을 입도 8000의 다이아몬드 지석을 적용하고 연속적인 전해드레싱을 수행하면서 연삭가공한 표면의 반사사진을 나타낸 것이다. 가공중에 연속적인 전해드레싱을 적용하면서 유리섬유강화 플라스틱을 가공함으로써 양호한 경면가공을 달성할 수 있었으며, 그 적용성에서 매우 유용한 가공이라는 것을 알 수 있다.

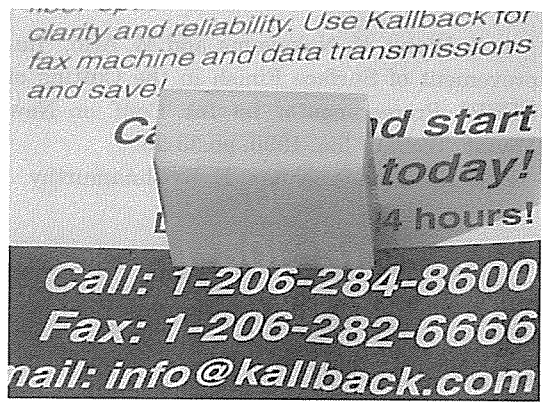


Fig. 12. View of ground mirror surface of GFRP.
Wheel: D #8000 ϕ 180 Workpiece: GFRP
Vw: 5.0 m/min Grinding depth: 1 μ m
Electrolytic dressing: Ip=10A $\tau_{on}=\tau_{off}=5\mu$ sec

5. 결 론

- (1) 유리섬유강화 플라스틱 연삭가공중 연속적인 전해드레싱을 적용함으로써 모든 연삭깊이에

- 서 수직 및 수평 연삭력 감소효과를 보였으며, 연삭제거량 증가에 따른 수직 및 수평 연삭력은 거의 일정하게 유지되는 성능을 나타냈다.
- (2) 연속적인 전해드레싱을 적용시키는 것이 복합재료인 유리섬유강화 플라스틱 가공 표면거칠기 및 가공면 정도에 양호한 영향을 미치게 된다.
 - (3) 유리섬유강화 플라스틱의 연삭가공에서 표면거칠기는 유리섬유와의 연삭방향성에 크게 의존하며, 90° 연삭방향에서는 양호한 표면거칠기 및 가공면을 얻을 수 있다.
 - (4) 유리섬유강화 플라스틱의 연삭가공에서 유리섬유와의 연삭방향성은 연삭력에는 큰영향을 미치지 않는다.

후 기

본 연구는 1996년도 인하대 산업과학기술연구소 지원에 의해 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. X. Wang, K. Nakayama and M. Arai, "Improvement of Surface Finish in the Cutting of GFRP", Proceedings of 1st Int. Conf. on New Manuf. Tech, Chiba, 1990, pp.33-38.
2. G. Santhanakrishnan, R. Krishnamurthy and S. K. Malhotra, "High Speed Steel Tool Wear Studies in Machining of Glass-Fibre-Reinforced Plastics", Wear, Vol.132, 1989, pp.327-336.
3. G. Lubin, Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold, pp.625-6294. R. Komanduri, W. R. Reed, "A New Technique of Dressing and Conditioning Resin Bonded Superabrasive Grinding Wheel", Annals of the CIRP, Vol.29, 1980, pp.239-243.
5. K. Suzuki, T. Uematsu, "On-Machine Trueing/Dressing of Metal Bond Grinding Wheels by Electro-Discharge Machining", Annals of the CIRP, Vol.36, 1987, pp.115-118.
6. J. D. Kim, E. S. Lee and C. Y. Lee, "Crack generation and the effect of in-process electro-discharge dressing in grinding single crystal MgO", International Journal of Mechanical Sciences, Vol.37, No.6, 1995, pp.569-583.
7. H. Ohmori and T. Nakagawa, "Mirror Surface Grinding on Silicon Wafers with Electrolytic In-process Dressing", Annals of the CIRP, Vol.39, 1990, pp.329-332.
8. H. Ohmori, "Electrolytic In-Process Dressing Grinding Technique for Ultraprecision Mirror Surface Machining", Int. JSPE, Vol.26, No. 4, 1992, pp.273-278.