

## 화학환원 니켈도금 처리에 따른 탄소섬유 표면 및 복합재료의 기계적 계면 특성

박수진<sup>†</sup> · 장유신 · 이재락

한국화학연구소 화학소재연구부

(2000년 12월 22일 접수)

## Studies of Electroless Ni-plating on Surface Properties of Carbon Fibers and Mechanical Interfacial Properties of Composites

Soo-Jin Park<sup>†</sup>, Yu-Sin Jang, and Jae-Rock Lee

Advanced Materials Division, Korea Research Institute of Chemical Technology

P.O. Box 107, Yusong, Taejeon 305-600, Korea

<sup>†</sup>e-mail : psjin@pado.kRICT.re.kr

(Received December 22, 2000)

**요약:** 복합재료의 기계적 계면 특성을 향상시키기 위하여 탄소섬유에 무전해 니켈도금 표면처리를 하였으며, 표면처리된 PAN계 탄소섬유를 에폭시수지에 함침시켜 프리프레그법으로 일방향 탄소섬유/에폭시수지 복합재료를 제조하였다. 본 연구에서는 무전해 니켈도금으로 유기된 취성-연성전이 특성을 가지는 Ni-P 합금의 양에 따른 복합재료의 층간전단강도(ILSS)와 충격강도의 차이를 조사하였다. 또한, 탄소섬유 표면 특성의 변화를 X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)로 측정하였다. 그 결과, 무전해 니켈도금된 탄소섬유 표면의  $O_{1s}/C_{1s}$ 비 또는 니켈(Ni)과 인(P)이 증가되었으나 ILSS의 향상에는 큰 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었다. 그러나, 무전해 니켈도금으로 탄소섬유 표면에 도입된 Ni-P 합금은 복합재료의 연성에 따른 충격강도를 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.

**ABSTRACT:** The electroless plating of a metallic nickel on PAN-based carbon fiber surfaces was carried out to improve mechanical interfacial properties of the carbon fiber/epoxy resin composites which were unidirectionally fabricated by a prepregging method. In this work, the influence of Ni-P alloy concentration showing brittle-to-ductile transition was investigated on interlaminar shear strength (ILSS) and impact strength of the composites. The surface properties of carbon fibers were also measured by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). As the result, the  $O_{1s}/C_{1s}$  ratio or Ni and P amounts were increased with increasing electroless nickel plating time but the ILSS were not significantly improved. However, the impact properties was significantly improved in the presence of Ni-P alloy in the carbon fiber surface, resulting in an increase of the ductility of the composites.

**Keywords:** carbon fibers, epoxy resin, electroless Ni-plating, interlaminar shear strength, impact strength, ductility.

## 서 론

고탄성을 및 고강도 물질로서 각광받고 있는 탄소 섬유는 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP), 탄소-탄소 복합재료, 그리고 탄소섬유 강화 시멘트(CFRC) 등의 복합재료에서 주로 강화제로 사용되고 있다. 이 탄소섬유는 유리섬유나 다른 유기 고분자 섬유와는 달리 실온에서 부식이나 파열 등에 대한 영향이 우수한 것으로 알려져 있으며, 탄소섬유 복합재료는 강도, 강연도, 초경량, 내피로성 등의 특징을 절대적으로 요구하는 분야에 적용하는 것이 아주 이상적인 것으로 알려져 있다. 지금까지 탄소섬유가 적용되어 왔던 분야는 우주항공 산업과 핵 및 일반 기술과 관련된 high technology 분야와 베어링, 기어, 캠, 그리고 자동차 동체 등과 같은 운송 분야에서 주로 사용되어 왔다. 최근에는, 그 응용 범위가 군사장비, 스포츠 용품 분야 등에게까지도 본격적으로 사용되고 있는 유망한 신소재이다.<sup>1-3</sup>

이러한 CFRP의 기계적 물성은 섬유나 매트릭스 각각의 고유 물성에 좌우되지만, 그들 상호간의 계면 특성에 의해서도 크게 결정된다고 보고되고 있다.<sup>4-6</sup> 일반적으로, 표면처리하지 않은 탄소섬유를 이용한 복합재료는 낮은 층간계면강도(ILSS) 또는 충격강도를 갖는 것으로 알려져 있으며, 이것은 섬유나 매트릭스 사이의 약한 접착과 결합 때문인 것으로 알려져 있다.<sup>2</sup> 따라서 탄소섬유와 매트릭스 사이의 계면 결합력을 향상시키기 위하여 매트릭스의 개질과 더불어 탄소섬유에 대한 표면처리를 하고 있으며, 이는 탄소섬유 표면의 표면적과 산성 관능기 그룹을 증가시켜 섬유와 수지 사이의 결합력을 개선시켜 주는 것으로 알려져 있다.<sup>6,7</sup> 따라서 이런 경향은 탄소섬유의 젖음성을 증가시킬 수 있다.

지금까지 알려진 표면처리는 크게 산화적 방법과 비산화적 방법으로 분류될 수 있다. 산화적 방법에는 기상산화, 화학적 또는 전기화학적 방법을 사용한 액상산화, 그리고 촉매적 산화 방법이 있다.<sup>8,9</sup> 비산화적 처리 방법에는 탄소섬유보다 더 활성화된 형태를 deposition시키는 것으로 좋은 효과를 나타내는 것으로 알려진 whiskerization, pyrolytic carbon의 deposition 또는 탄소섬유 표면에 고분자의 grafting 등이 있다.<sup>10,11</sup> 이러한 표면처리는 탄소섬유 표면에 젖음을

방해하는 불순물들을 제거하고 계면에서의 결합을 유도하여 고분자 수지가 결합할 수 있는 활성화 자리를 만들어 주기 위한 것이다. 이러한 표면처리에 의해 생성되는 활성화 자리들은 주로 carboxyl, carbonyl, 그리고 hydroxyl기와 같은 산성 관능기들이며, 특히 이들 관능기 중에서 강산의 carboxyl기는 탄소섬유 표면에 있는 다른 관능기들 보다 염기성 에폭시수지와 강한 상호작용을 하는 것으로 알려져 있다.<sup>2,4</sup>

최근에는 앞서 언급된 탄소섬유에 대한 여러 가지 표면처리 이외에도, 탄소섬유 표면에 금속 피막을 형성시키는 금속 도금처리에 대해 연구되어지고 있다.<sup>13</sup> 금속 도금 방법에는 전해, 치환, 화학환경 도금 등이 있으며, 그 중 화학환경 도금은 금속염과 가용성 환원제가 공존하는 용액에 피도금물을 접촉시켰을 때 얻어지는 도금으로, 환원제의 산화에 의해 방출되는 전자가 금속 이온에 전이하여 금속피막을 형성시킨다.<sup>12</sup>

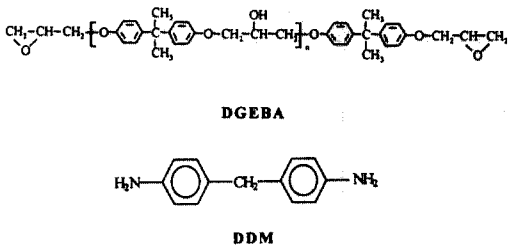
최근에, 전해 니켈도금 방법을 이용한 탄소섬유의 표면처리에 대한 연구에서 섬유에 금속 니켈을 도입시켰을 때의 표면 관능기 변화 및 니켈의 도입 효과와 기계적 특성의 변화에 대해서 고찰되어진 바가 있다.<sup>13</sup> 특히, 니켈은 금속으로서 물리적 특징인 연성을 가지고 있어 복합재료의 강인성에 영향을 미치며, 무전해 니켈도금은 얇고 고른 도금막을 얻을 수 있는 것이 특징으로 알려져 있다.

따라서, 본 연구에서는 무전해 니켈 도금법으로 탄소섬유를 표면처리하여 섬유 표면에서의 물성의 변화를 조사하였으며, 표면처리한 탄소섬유를 에폭시수지에 함침시켜 프리프레그법으로 일방향 탄소섬유/에폭시수지 복합재료를 제조하여 층간전단강도와 충격강도 측정을 통하여 강인성에 미치는 영향을 고찰해 보았다.

## 실 험

**재 료.** 본 연구에서 강화제로 사용된 탄소섬유는 대광산업(주)에서 생산된 polyacrylonitrile (PAN)계 고강도 탄소섬유(TZ-307, 12K)로 표면처리 및 사이징 처리를 하지 않은 장섬유를 사용하였다.

매트릭스로 사용한 에폭시수지는 국도화학(주)의 이관능성 에폭시 올리고머인 diglycidyl ether of bisphenol-A (DGEBA)계 YD-128 (e.e.w. : 184 ~

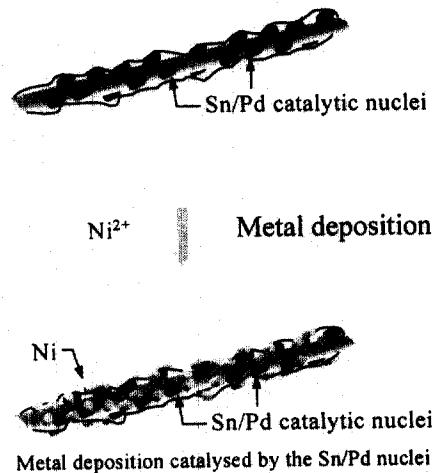
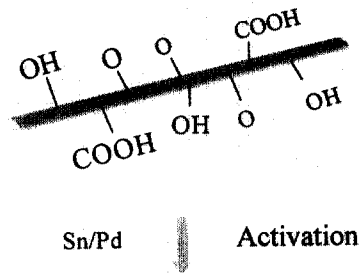


**Figure 1.** Chemical structures of DGEBA and DDM.

190 g.eq<sup>-1</sup>, 점도 : 11500~13500 cps)을 사용하였다. 경화제는 상기사의 제품인 diaminodiphenylmethane (DDM)을 사용하였으며, YD-128의 고점도를 낮추기 위해 methylethylketone (MEK)을 희석제로 사용하였다. 본 연구에 사용된 에폭시수지 및 경화제의 화학적 구조는 Figure 1에 나타내었다.

**무전해 니켈도금.** 탄소섬유는 무전해 니켈도금 전 표면의 불순물을 제거하기 위하여 10 wt% HNO<sub>3</sub>으로 30분 동안 전처리하고 Soxhlet 장치를 이용하여 아세톤으로 2시간 동안 세척하였다. Figure 2는 탄소섬유의 무전해 니켈도금 과정을 간략히 나타낸 것이다. Figure 2에서 보는 바와 같이 무전해 니켈도금은 활성화 과정과 금속 deposition 과정으로 나누어 처리하였다. 먼저 SnCl<sub>2</sub> 용액에서 1분 동안 활성화시킨 후 세척하고 다시 PdCl<sub>2</sub>를 이용하여 1분 동안 활성화시켰다. 이 과정에서 탄소섬유 표면에 Sn/Pd 핵이 형성되며, 탄소섬유 표면에 형성된 Sn/Pd 핵은 금속 deposition을 촉매화시킨다.<sup>14</sup> 본 연구에서 사용된 무전해 니켈도금욕의 조성은 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 NiCl<sub>2</sub> 및 NiSO<sub>4</sub>를 금속염으로 사용하였으며, Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>와 NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>를 각각 환원제와 착화제로 사용하였다. 그리고, 안정제로 소량의 PbNO<sub>3</sub>를 사용하였으며, 도금욕의 컨디션은 pH는 8.25, 온도는 90 °C를 유지하였으며 5~20분 동안 각각 처리하였다. 이렇게 화학 환원도금 처리된 탄소섬유는 건조기에서 완전히 건조시킨 후, 분석 및 탄소섬유/에폭시수지 복합재료의 제조에 사용하였다. 각 처리 시간에 따른 니켈도금 양은 atomic absorption spectrophotometry (AAS)를 사용하여 확인하였다.

**시편 제조.** 일방향 복합재료는 에폭시수지와 경화제 DDM을 당량비 1 : 1로 혼합하여 70 °C에서 녹이



**Figure 2.** Schematic diagram of the electroless Ni-plating processes involved in the activation and metal deposition.

**Table 1. Composition and Operating Conditions of an Electroless Ni-Plating Bath**

|             |                                                                                   |         |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|
| composition | NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O                                              | 280 g/L |
|             | NiSO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O                                              | 40 g/L  |
|             | Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> ·1.5H <sub>2</sub> O | 15 g/L  |
|             | NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O                               | 100 g/L |
|             | NH <sub>4</sub> Cl                                                                | 100 g/L |
|             | PbNO <sub>3</sub>                                                                 | 30 g/L  |
|             |                                                                                   |         |
| conditions  | pH                                                                                | 8.25    |
|             | temperature (°C)                                                                  | 90 ± 1  |
|             | plating time (min)                                                                | 5-20    |

고, MEK를 에폭시수지와 무게비 1 : 1로 첨가하여 희석시켰다. 이를 상온으로 냉각시켜, 탄소섬유와 함께 filament winding을 통하여 탄소섬유의 일방향 프리프레그 (prepreg)를 제조하였다. 이렇게 제작된 프리프레그는 22 plies로 균일하게 적층하고 vacu-

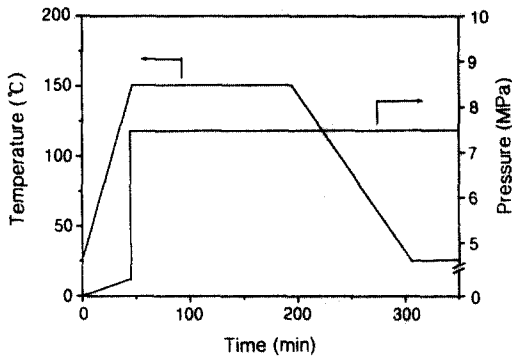


Figure 3. Curing conditions of laminated prepreps in a hot press.

um bag molding 방법을<sup>15</sup> 이용하여 Figure 3에 나타난 경화 프로그램으로 150 °C에서 7.4 MPa의 압력으로 150분 동안 경화시켜 복합재료를 제조하였다. 이 때 제조한 복합재료의 섬유 체적비는 약 50% ( $\pm 2\%$ ) 이었다.

**표면특성.** 니켈도금된 탄소섬유의 표면은 XPS (LAB MK-II; VG Scientific Co.)를 이용하여 분석하였다. XPS 측정에 사용된 X-ray source는 Mg K $\alpha$ 를 사용하였으며, chamber 내의 압력은  $10^{-8}$ ~ $10^{-9}$  torr로 조절하였다.

**기계적 계면특성 시험.** 제조된 복합재료의 기계적 계면특성은 삼점 굴곡시험 (three-point bending test)으로부터 얻을 수 있는 ILSS 측정을 통하여 고찰하였다. ILSS의 측정은 Instron #1125 시험기를 사용하였으며 ASTM D2344에 준해 span-to-depth ratio 4:1, cross-head speed 2 mm·min<sup>-1</sup>의 속도로 측정하였다. 충격강도는 Izod impact tester (Tinus-Olsen Co.)를 사용하였으며 ASTM D256에 준하여 측정하였다.

## 결과 및 고찰

**무전해 니켈도금.** Figure 4는 SnCl<sub>2</sub> 및 PdCl<sub>2</sub>를 이용하여 활성화된 탄소섬유를 NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>를 환원제로 하는 도금욕에서 도금하여 섬유에 도입된 니켈량을 나타낸 것이다. NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>를 환원제로 하는 무전해 니켈도금의 반응은 두 가지의 반응, 즉 산화-환원 반응이 동시에 일어나는 것으로 알려져 있다.<sup>16</sup> 그 첫

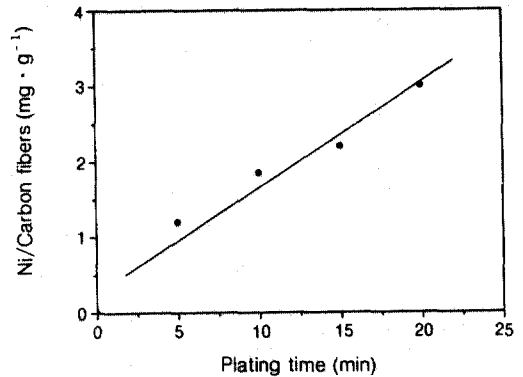
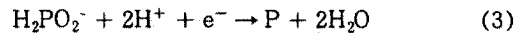
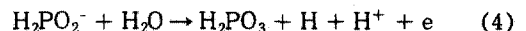


Figure 4. Ni quantification of the electroless Ni-plated carbon fibers measured by AAS.

번째는 Ni<sup>2+</sup>, H<sup>+</sup>, 그리고 H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub><sup>-</sup>의 환원반응 (또는 Ni-P 합금의 deposition)과 수소의 생성이다. 즉, 다음의 식 (1), (2), 그리고 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

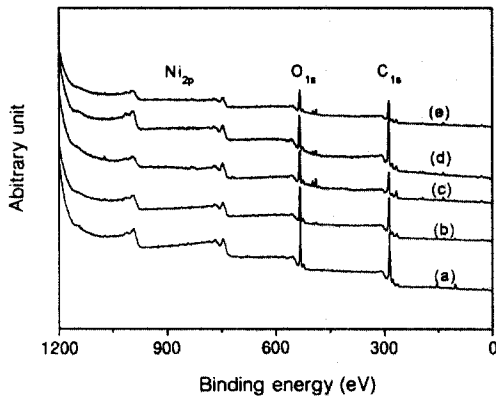


그리고, 두 번째는 H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub><sup>-</sup>의 산화반응이다. 즉, 다음의 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.



이 산화-환원 반응으로 탄소섬유에 도입된 니켈의 양은 원소흡광분석기를 이용하여 분석하였으며, 탄소섬유 g당 니켈의 양을 mg으로 나타내었다. Figure 4에서 보이는 바와 같이 도금처리 시간이 길어질수록 도금된 양이 점점 증가하는 현상을 보였으며, 전해 도금했던 탄소섬유와 비교해 볼 때<sup>13</sup> 상대적으로 무전해 도금된 탄소섬유에 도입된 니켈의 양이 조금 적은 것을 확인할 수 있었다.

**표면특성.** 탄소섬유 표면과 계면의 구성 원소, 결합상태 및 에너지 준위를 알아보기 위해 XPS를 이용하여 니켈도금된 탄소섬유의 표면을 분석하였으며, 이를 Figure 5와 Table 2에 나타내었다.



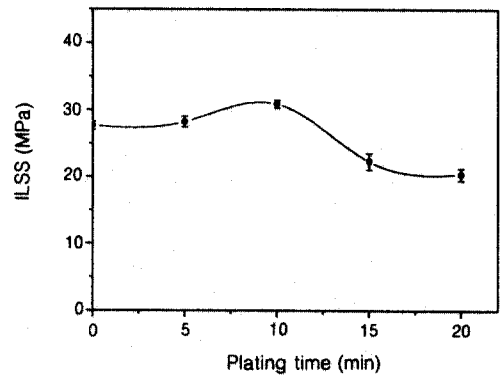
**Figure 5.** XPS spectra of the Ni-plated carbon fibers with plating time. (a) 0, (b) 5, (c) 10, (d) 15, and (e) 20 min.

**Table 2. Elemental Compositions and  $O_{1s}/C_{1s}$  Ratio of Electroless Ni-Plated Carbon Fibers**

| plating time<br>(min) | elemental compositions |              |              | elemental ratio |
|-----------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------|
|                       | $O_{1s}$ (%)           | $C_{1s}$ (%) | $N_{1s}$ (%) | $O_{1s}/C_{1s}$ |
| 0                     | 25.8                   | 68.8         | 0.8          | 0.375           |
| 5                     | 26.8                   | 70.1         | 0.8          | 0.383           |
| 10                    | 34.4                   | 61.4         | 0.8          | 0.560           |
| 15                    | 22.2                   | 75.9         | 0.8          | 0.300           |
| 20                    | 28.1                   | 69.0         | 0.8          | 0.407           |

Figure 5는 처리시간을 달리하여 무전해 니켈도금된 탄소섬유 표면의 XPS survey scan spectra로서, 니켈도금 표면처리 여부에 관계없이 결합 에너지 284.6과 532.5 eV 부근에서 각각  $C_{1s}$ 와  $O_{1s}$ 의 피크를 관찰할 수 있었다. 또한 니켈도금되지 않은 탄소섬유 표면의 경우 (a)  $Ni_{2p}$  피크 (binding energy, BE=857 eV)가 나타나지 않았으나, 니켈도금된 탄소섬유 표면의 경우 (b, c, d, e)는  $Ni_{2p}$  및  $P_{2p}$  피크 (BE=135 eV)를 확인할 수 있었다.

Table 2는 표면처리하지 않은 탄소섬유와 무전해 니켈도금 표면처리된 탄소섬유들의 표면 조성을 XPS 결과로부터 분석하여  $O_{1s}$ ,  $C_{1s}$ ,  $N_{1s}$ , 그리고  $O_{1s}/C_{1s}$ 비의 변화를 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이, 도금 시간에 따라 처리한 탄소섬유 표면의  $O_{1s}$ 비는 증가하다가 15분 이상에서 감소하는 경향을 보였으나,  $N_{1s}$ 비는 도금 시간과 무관함을 확인하였다. 한편,  $O_{1s}/C_{1s}$ 의 비는 니켈도금하지 않은 탄소섬



**Figure 6.** Variation of the ILSS as a function of electroless Ni-plating time.

유에서 0.375로 가장 낮은 값을 보인 후 점차 증가하여 10분 니켈도금 처리한 탄소섬유에서 가장 높은 값을 보였다.

Figure 5와 Table 2의 XPS 결과로부터 무전해 니켈도금된 탄소섬유 표면에는 인산이 도입되어 Ni-P 합금이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 또한,  $O_{1s}/C_{1s}$ 비의 증가는 무전해 니켈도금 처리한 탄소섬유 표면에서 -OH 또는 COOH 또는 C-O 그리고 NiO 등의 산소관능기가 증가하는 반면 C-H group은 감소했기 때문인 것으로 사료되며, 이러한 무전해 니켈도금 처리에 의한 활성그룹의 형성은 탄소섬유와 에폭시수지 간의 결합력을 증진시킬 것으로 사료되어진다.<sup>13,17,18</sup>

**기계적 계면특성.** 무전해 니켈도금된 탄소섬유/에폭시수지 복합재료의 기계적 계면특성을 알아보기 위하여 복합재료의 양단을 단순 지지하고 중앙에 하중을 가하여 시편의 중앙면에 최대 전단응력을 발생시켜 전단파괴시켜 ILSS를 측정하였으며, 다음의 식 (5)에 의해서 ILSS값을 구하였다.

$$ILSS = \frac{3}{4} \cdot \frac{P}{b \cdot d} \quad (5)$$

여기서  $P(N)$ 는 하중,  $b(m)$ 와  $d(m)$ 는 각각 시편의 넓이와 두께를 나타낸다.

Figure 6은 식 (5)에 의해서 구해진 전류밀도에 따른 복합재료의 ILSS 변화를 나타낸 것이다. 이 결과 역시 앞에서 논의하였던 XPS의 결과와 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. Figure 6에서 보

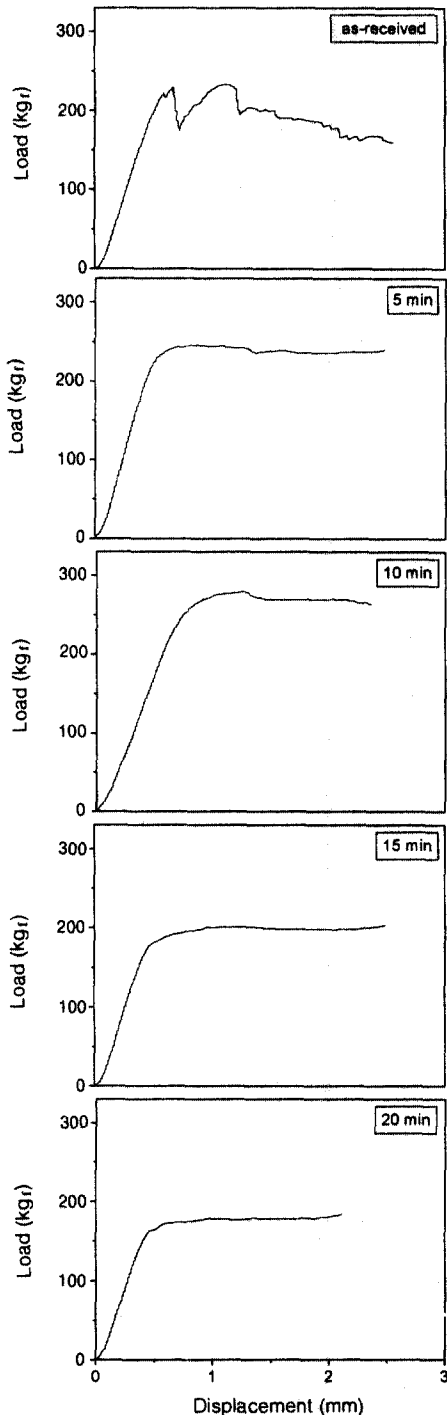


Figure 7. Load-displacement curves of the electroless Ni-plated carbon fiber/epoxy composites.

는 바와 같이 ILSS 값은 처리시간 10분까지는 증가하다가 15분 이상에서는 오히려 as-received보다 감소하는 경향을 나타내었으며, 처리시간이 10분일 때 최대 ILSS 값인 약 31 MPa를 나타내었다. 이는 Table 2에서 언급했던  $O_{1s}/C_{1s}$ 비의 증가율과 비교해 볼 때 ILSS 값의 증가는 비교적 크지 않은 것으로 나타났다. 즉,  $O_{1s}/C_{1s}$ 비는 크게 증가한 반면 ILSS는 약간 증가한 것으로써, 이는 무전해 도금으로 도입된 Ni-P 합금으로 인하여 탄소섬유와 에폭시수지 계면에서의 물리적 결합이 금속 니켈과 비교해 볼 때 낮아졌기 때문인 것으로 사료된다. 또한, 처리시간이 상대적으로 긴 20분 동안 표면처리한 경우는 Ni-P의 aggregation으로 인한 외부의 응력이 탄소섬유에까지 잘 전달되지 않았기 때문인 것으로 판단되며, 전해 니켈도금된 탄소섬유를 이용한 복합재료와 유사한 경향을 나타내었다.<sup>13</sup>

Figure 7은 무전해 니켈도금된 탄소섬유/에폭시 복합재료의 하중에 따른 굽힘 거동을 니켈도금 처리 시간에 따라 나타낸 것이다. Ahearn과 그의 공동 연구자는 굴곡강도의 파괴 유형을 통하여 취성을 띄는 복합재료 연성의 정도를 유형에 따라서 설명한 바 있다.<sup>19</sup> Figure 7은 니켈도금량이 증가할수록 피크에서 최고 하중을 나타낸 후에도 완전한 강도 유지율을 보여주고 있는데, 이는 최고 하중을 나타낸 후 급격한 강도 저하를 나타내는 특징을 가진 as-received에 비하여 무전해 니켈도금의 효과로 연성이 증가함을 보여주는 것으로 사료된다.

Figure 8은 무전해 니켈도금된 탄소섬유/에폭시 복합재료의 충격강도의 변화를 표면처리 시간에 따라 나타낸 것으로 Figure 8에서 보는 바와 같이 표면처리를 하지 않은 탄소섬유를 이용한 복합재료의 경우, 충격강도는 약 15.2 kgf·cm/cm이었으나 무전해 니켈도금된 탄소섬유를 이용했을 경우는 약 30.5 kgf·cm/cm이상으로 향상되었으며, 도입된 니켈의 양이 증가하면서 복합재료가 모두 우수한 충격강도의 향상을 보여주었다. 특히, ILSS에서 as-received보다 낮은 값을 보였던 15분과 20분 처리했던 탄소섬유를 이용한 복합재료의 충격강도는 괄목할만한 향상을 보였는데, 이는 항복점 이후에서 크랙이 전파하는 동안 복합재료에 의해서 흡수된 에너지가 증가했기 때문인 것으로 생각되며, 이는 Figure 7의 load-displace-

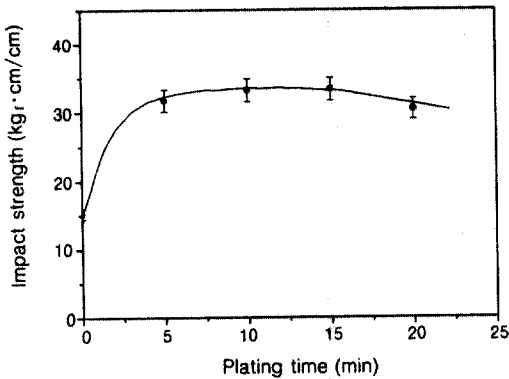


Figure 8. Variation of the impact strength as a function of electroless Ni-plating time.

ment 곡선으로부터 간접적으로 확인할 수 있었다. 따라서, 충격 시험 결과로부터 복합재료의 연성은 표면처리하지 않은 탄소섬유를 이용한 복합재료와 비교해 볼 때, 니켈도금된 탄소섬유를 이용한 복합재료에서 크게 개선되는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 탄소섬유에 도입된 Ni-P 합금의 영향으로 판단된다.

일반적으로 복합재료의 계면에서 섬유 표면의 산성 관능기들은 약염기성의 에폭시수지와 강한 결합을 하는 것으로 알려져 있으며,<sup>13,17,18</sup> 전해 도금했을 때보다 무전해 도금했을 때  $O_{1s}/C_{1s}$ 비가 더 크게 증가하였음에도 무전해 도금했을 때 ILSS가 더 크게 증가하지 못한 것은 무전해 도금으로 도입된 Ni-P 합금이 형성하는 니켈-에폭시 사이의 결합보다 니켈-탄소섬유 사이의 결합이 상대적으로 약하다는 것을 보여 주는 것으로 사료되어진다. 반면, 무전해 니켈도금으로 탄소섬유 표면에 형성되어진 Ni-P 합금은 항복점 이후에서 크랙이 전파하는 동안 복합재료에 의해서 흡수되는 에너지가 증가하여 최종 복합재료 연성의 향상을 보여주었으며, 특히 10분 동안 처리한 탄소섬유에서 ILSS 및 연성이 모두 우수해졌음을 알 수 있었다.

## 결 론

본 연구에서는 복합재료의 주요 강화재로 사용되고 있는 탄소섬유의 기계적 특성을 향상시키기 위해 무전해 니켈도금 표면처리를 하여 탄소섬유의 표면특성

변화에 따른 복합재료의 기계적 특성에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다. XPS 결과를 통해 표면 특성을 살펴본 결과, 무전해 니켈도금된 탄소섬유의 표면에 니켈 (Ni) 및 인 (P)이 새롭게 형성되었으며, 산소 관능기들이 증가할 뿐만 아니라  $O_{1s}/C_{1s}$ 비가 증가하였으나, ILSS는 크게 향상시키지 못하는 것을 확인하였다. 반면, 충격강도는 무전해 도금으로 도입된 니켈-인 합금의 양이 증가할수록 복합재료가 모두 우수한 충격강도의 증가를 보여 주었다. 따라서, 무전해 니켈도금으로 탄소섬유 표면에 도입되는 Ni-P 합금은 탄소섬유/에폭시수지 복합재료의 연성과 충격강도를 향상시킴을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

1. W. S. Smith, "Engineered Materials Handbook", vol. 1, ASM International, Ohio, 1987.
2. J. B. Donnet and R. C. Bansal, "Carbon Fibers", 2nd ed., Marcel Dekker, New York, 1990.
3. S. J. Park, M. S. Cho, and J. R. Lee, *Polymer(Korea)*, **22**, 972 (1998).
4. S. J. Park and J. B. Donnet, *J. Colloid Interface Sci.*, **206**, 29 (1998).
5. S. J. Park and J. R. Lee, *J. Mater. Sci.*, **33**, 647 (1998).
6. S. J. Park, in "Interfacial Forces and Fields: Theory and Applications", ed. by J. P. Hsu, chap. 9, Marcel Dekker, New York, 1999.
7. L. Weitzsacker, X. Ming, and L. T. Drzal, *Surface and Interface Anal.*, **25**, 53 (1997).
8. L. Ibrira, A. Macias, and E. Palma, *J. Appl. Polym. Sci.*, **61**, 2447 (1996).
9. S. J. Park, E. Papirer, and J. B. Donnet, *J. Chim. Phys.*, **59**, 203 (1994).
10. N. Tetsuji, S. Hiroshi, A. Fujio, and O. Masatoshi, *J. Nuclear Sci. Technol.*, **32**, 369 (1995).
11. R. V. Crane and V. J. Krukons, *Ceram. Bull.*, **54**, 184 (1974).
12. K. Parker and R. Woil, "Electroless Plating: Fundamentals and Applications", American Electroplaters and Surface Fishers Society, Orlando, 1990.
13. S. J. Park, Y. S. Jang, J. R. Lee, and J. S. Kim, *Polymer(Korea)*, **24**, 721 (2000).
14. L. M. Ang, T. S. Andy, G. Q. Xu, C. H. Tung, S. Zhao, and J. L. S. Wang, *Chem. Mater.*, **11**, 2115 (1999).

15. J. M. Charrier, "Polymeric Materials and Processing", Hanser, New York, 1990.
16. K. P. Han and J. L. Fang, *J. Appl. Electrochem.*, **26**, 1273 (1996)
17. E. Hage, Jr., S. F. Costa, and L. A. Pessan, *J. Adhesion Sci. Technol.*, **11**, 1491 (1997).
18. N. Dilsiz, E. Ebert, W. Weisweiler, and G. Akovali, *J. Colloid Interface Sci.*, **170**, 241 (1995).
19. C. Ahearn and F. Marino, *Carbon*, **34**, 239 (1996).
17. E. Hage, Jr., S. F. Costa, and L. A. Pessan, *J. Adhesion*