

Review article

의료기기의 발전을 위한 탄소소재의 활용

곽영곤

원광보건대학교 방사선과

Application of Carbon Materials for the Development of Medical Devices

Yeong-Gon Kwak

Department of Radiological Science, Wonkwang Health Science University, Iksan, Korea

*Corresponding Author : Yeong-Gon Kwak, Department of Radiological Science, Wonkwang Health Science University, 514 Iksan-Daero, Iksan-si, Jeollabuk-do, 54538, Rep. of Korea, Tel : +82-10-4641-1994 E-mail : gon0623@gmail.com

ABSTRACT

Carbon materials are widely used in many areas of our lives. A fiber having a carbon content of 90% or more obtained by heating an organic fiber precursor is referred to as a "carbon fiber". Carbon fibers are currently used in the medical market to manufacture radiation transmission device parts, artificial joints, and medical aids, as many developments have been made to utilize carbon fibers' characteristics such as light weight, radiation permeability, biocompatibility, high strength, high heat resistance, thermal conductivity, and electrical conductivity. In order to maintain body temperature and increase immunity in long-lasting nuclear medical examination and treatment through the idea of convergence of carbon materials and radiation technology, the quality of medical services can be improved by utilizing carbon materials. We should be aware of the domestic carbon-based medical device industry and make efforts to contribute to the development of medical devices. As a radiation expert, we should try to use our skills and experience to find items that can be fused with medical devices to develop various nuclear medical examination fields and radiographic examination fields that can be widely applied. We should actively engage in future technology development and carbon material research to strengthen the global competitiveness of the domestic medical device industry and improve the quality of medical services.

Key Words: Carbon Fiber, Carbon Composite, Radiology Carbon Materials, Medical Device.

본문

1. 탄소섬유

1.1. 탄소섬유의 이해

탄소섬유란 탄소함유율이 90% 이상인 섬유로 유기섬유인 전구체를 가열하여 만든 섬유이다. 탄소섬유는 일반적으로 원료의 제조 방법에 의해 분류하며 레이온계열(Rayon), 폴리아크릴로니트릴(Polyacrylonitrile, PAN)계열, 피치(Pitch)계열로 나뉘며, 현재 폴리아크릴로니트릴계열이 탄소섬유 시장의 한 획을 담당하고 있다. 탄소섬유는 비탄성률, 비강도, 내열성, 내식성, 전도성, 진동 감쇄성 및 마

Received December 07, 2022

Revised May 11, 2023

Accepted May 13, 2023

Copyright © 2023 The Korean Society of Nuclear Medicine Technology.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

모특성 등이 우수한 재료이며, 형태적 성질로 섬유직경이 7 μm 정도로 미세하므로 유연성이 있으며, 장섬유 탄소섬유를 이용한 복합소재를 예로 들면 강도 특성, 열적 특성, 전기적 특성 등이 섬유의 방향과 섬유의 직경 방향과는 커다란 차이를 보이는 이방성을 보이는 특징을 가진 섬유로서 직물 등의 여러 가지 가공성이 유리하기 때문에 복합재료의 원소재로 각광을 받고 있다(Table 1)[1]. 탄소섬유는 흔히 금속인 철보다 5배 가볍고, 그 강도는 10배 강하며, 충격이나 열에 견디는 내열성이 뛰어난 고강도/고탄성 첨단소재로서 항공·우주 그리고 방위산업 및 반도체 등 부가가치가 높은 사업영역에서 핵심소재로 사용되어 왔다. 하지만, 탄소섬유는 전 세계의 냉전체제가 1990년대에 종료됨에 따라 군사, 항공·우주 용도에 있어서 첨단 복합재료의 방위산업 및 고부가가치 산업이 정체되면서 침체를 겪었으며, 섬유산업에서 차지하는 비중도 유리섬유에 비해 매우 작아 그 용도에 있어서도 스포츠·레저산업 등과 같은 2차 소재로서만 사용되어왔다[2]. 그러나 최근에는 탄소섬유의 철보다 가벼운 경량화, 철보다 10배 강한 내구성 및 열에 강한 고내열성 등의 특성을 살릴 수 있는 꾸준한 용도 개발로 건축재료, 콘크리트 구조물, 내진 보강 등의 토목·건축 분야, 압축 천연가스(Compressed Natural Gas, CNG) 탱크, 풍력 발전용 블레이드, 원심 분리 로터, 플라이 호일 등의 대체 에너지, 그린 에너지 분야, 선박, 차량 등의 고속 운송 기기분야, 해양 개발·심해 저 유전 채굴 분야, 의료 기기 등, 우주·항공분야에서부터 의료산업에 이르기까지 다양한 산업 분야에 대한 적용분야의 폭이 넓어지고 있는 상황이다. 탄소섬유는 주로 복합재의 보강재로 사용되어지며, 탄소섬유 복합재는 최근 미국에서 선정한 10대 미래기술에 포함된 소재기술로 활용되어지고 있다[3].

Table 1. Characteristics of Carbon Fiber

분류	탄소섬유 특성
형태적 성질	가늘고 길며 쉽게 구부러진다. 다양한 모양과 사이즈로 가공이 우수하다 모재와 섬유 보강재로 제작 가능하다. 탄소섬유의 방향은 서로 다른 물리적 특성을 가진다.
물리, 화학적 성질	대부분 C 원소로 구성되었다. 불에 잘 타지 않는다. 화학적으로 안정, 산·염기 용매에 강하다. 산소와 결합에 의해 열화된다. 높은 온도의 공기, 산화성 산에 대해 약하다. 높은 고온에서 금속 탄화물 형성한다. 표면에 구멍이 많으며, 표면 활성화에 의해 흡탈착 성능을 나타낸다
기계적 성질	밀도가 금속보다 작다. 인장 강도, 인장 탄성률이 크다. 회전, 마찰에 저항성, 윤활성이 우수
열적 성질	선 팽창률 계수가 작고, 치수 안정성 우수 높은 온도에서 기계적 특성이 저하되지 않는다. 낮은 온도일 경우 열전도성이 작다.
전자, 전기적 성질	전기 전도성 우수 전파 반사성, 전파 시일성이 우수 방사선 투과성 우수

1.2. 탄소섬유 복합재란 무엇인가?

탄소 소재는 우리의 생활 속 여러 분야에 많이 활용되어지고 있지만, 꼼꼼히 살펴보지 않으면 느낄 수 없는 재료라는 생각이 든다. 하지만 우리가 매일 사용하며 자판을 두드리는 키보드와 컴퓨터, 노트북 등과 같은 우리의 실생활에 필요한 가전기기에도 탄소 소재가 함유 되어 있으며, 플라스틱 제품 중 검은색을 띠는 이유는 탄소의 소재인 카본 블랙에 의한 것이다. 탄소는 플라스틱을 만드는 대부분의 재료에 사용되어 지고 있다. 또한, 우리가 평소 사용하는 연필과, 샤프심도 탄소 재료이며, 굵기가 가늘지만 샤프심의 심이 잘 부러지지 않는 것을 체감하며 신기하게 느끼기도 하였을 것이다. 인간은 나무를 연료로 사용하였고, 얼마 지나지 않아 가볍고, 연기가 나지 않는 불씨를 지닌 숯을 에너지원으로 이용하였으며, 공기를 세계 불어주어 매우 높은 고온이 되면 광석을 녹여 금

속을 만드는 제련에도 사용하여 여러 가지 기술을 체득하기 시작하였다. 기원전 150년에 만들어진 중국의 마왕퇴(馬王堆) 1호분을 발굴했을 때, 그곳에서 목간돌레에 40~50 cm, 전체양으로 치면 5톤 분량의 숯이 빈틈없이 채워져 있었고, 관속 여성은 마치 살아있는 모습이었으며, 몇 천점에 이르는 화장품의 부속품도 같이 발견 되었다. 에너지원으로 사용된 숯이 방부제와 제습용으로 사용된 것을 보면, 아득한 옛날부터 숯이 에너지원과 다른 작용도 한다는 것을 알고 있었던 것으로 보인다.

더 강하고, 가볍고, 탄소소재는 대부분의 스틸소재를 대체할 ‘슈퍼소재’로 이미 많은 분야에 접목되어지고 있다. 이러한 특징을 가진 여러 소재 중 특히 각광을 받는 탄소섬유는 강하고 가벼운 꿈의 신소재로 주목을 받고 있지만, 하나하나 살펴보면 얇은 실과 같이 보이며, 힘이 없이 축 늘어진 형태의 천과 같다. 탄소섬유는 단순히 실의 형태만으로는 의미가 없다. 탄소섬유의 형태를 유지하며 물리적 성질을 그대로 유지하면서도 부품의 형태를 만들 수 있게 하는 피치나 열경화성 수지와 결합하여야 비로소 복합소재 (Composite)로서 엄청난 능력을 가지게 된다(Fig. 1).

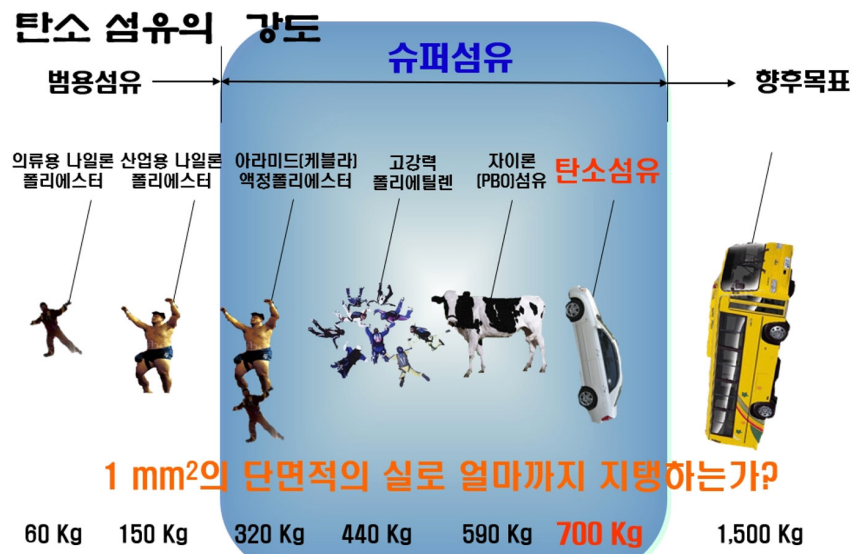


Fig. 1. How many kilograms do you weigh with a 1 mm² thread. It can support 700 kg with 1 mm² carbon fiber.

복합소재는 두 종류 이상의 소재를 사용하여 또 다른 형태의 소재를 의미하며, 개념적으로는 두 종류 이상의 소재를 복합화 한 후에 물리적 화학적으로 각각의 소재가 원래의 성질을 유지하면서 원래의 소재보다 우수한 성능을 갖도록 한 소재를 말한다. 복합소재는 강화재(Reinforced Material)와 모재(Matrix)로 이루어지며 본질적으로 불균질한 재료인 2가지 재료가 상호작용을 하며, 강화재는 섬유상과, 구, 판, 타원체 등의 입자상 및 섬유 또는 입자의 혼합상으로 구성되고, 모재는 금속재료, 무기재료 및 유기재료 등으로 구성되며, 탄소복합소재는 강화재로서 탄소섬유, 탄소나노튜브 등 탄소재료가 소재로 사용된다(Fig. 2)[4].



Fig. 2. The figure above shows the process of making carbon composites using reinforcing materials and polymer materials.

1.3. 탄소섬유 복합재의 현황

탄소섬유는 19세기 말 에디슨의 백열전구용 탄소 필라멘트가 시초라 할 수 있지만 현대적의미의 재료로서 탄소섬유의 역사는 1959년 UCC (현 AMOCO)에 의해 레이온을 원료로 한 GPCF (General Purpose Carbon Fiber)의 상업화로부터 시작되었다고 할 수 있다. 탄소섬유는 우주개발과 군수용으로 로켓모터와 노즐에 필요한 내열재료의 개발요구에 따라 개발하게 되었으며, 우주용 기기와 항공기 분야에서 기본으로 요구되는 경량 및 고강성 소재의 연구가 1950년대부터 미국에서 수행되었고, 이를 가능케 하는 소재가 탄소복합소재라는 결론을 내리고 보강재로서 비강도 및 비탄성이 우수한 탄소섬유를 개발하게 되었으며, 이러한 개발 비용으로 인해 가격이 매우 높은 소재로 국가의 전방산업에 사용 되어 왔다. 강판과 비교한 생산량도 40%에 그치고 있고, 제조 가격은 5배나 들기 때문에 시장 저변 확대를 위해서는 저가 탄소섬유 및 복합재료 개발이 필수 요소로 최근 전복에 탄소밸리를 구축해 전 세계 시장을 맹추격 중이다. 특히 미국과 일본 등 탄소재료 선진국을 중심으로 신 탄소섬유강화 복합재에 대한 연구가 급진적으로 추진되고 있으며, 이에 따른 신규 우주 항공, 자동차, 선박 및 레저산업, 의료기기 산업의 선점을 목적으로 개발 하고 있다. 국내 탄소섬유강화 복합재 수요는 낚싯대, 테니스라켓, 골프 등 스포츠 레저용 제품을 중심으로 매년 8.7% 정도의 성장세를 보이고 있으며, 최근에는 전 세계 시장의 70% 이상을 점유하였던 국내 낚싯대 수출이 큰 폭으로 하락함에 따라 가장 큰 비중을 점하였던 스포츠 레저용 수요는 감소하고 있는 반면 산업용 소재, 항공기의 구조재, 자동차 및 에너지 관련 소재로 응용분야가 점차 확대되어 현재는 산업용소재 분야에 가장 많은 탄소섬유가 사용되고 있다(Fig. 3)[6].

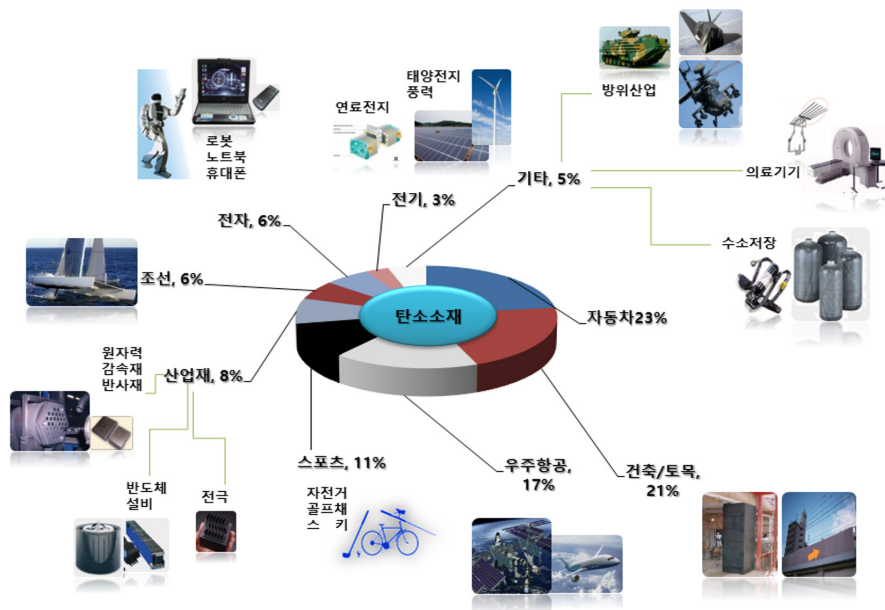


Fig. 3. Currently, carbon materials are used in various fields such as mobile phones, semiconductor facilities, and defense industries.

2. 의료기기와 탄소소재

최근 국내 의료기기 시장규모가 꾸준히 성장하고 있다. 2014년 기준 5조 198억 원이었던 시장규모가 2018년에는 6조 8,179억 원으로 연평균 8.0% 이상의 꾸준한 성장을 보이며 지속적인 성장이 전망되는 고부가가치 유망산업으로 자리 잡고 있다[4]. 이는 현대 의학기술의 발전, 인구의 고령화, 국민 전반적으로 과거에 비해 경제와 삶의 질이 향상되면서 건강의 중요성이 증대됨에 따라 현대 보건의료의 인식이 예방중심으로 변화했기 때문이다[5]. 의료기기산업의 꾸준한 성장과 함께 지난 2017년 정부는 의료기기산업 중합발전계획을 발표하며 부가가치가 큰 미래성장 주력산업으로 생체적합성 신소재를 활용한 의료기기 산업 육성에 힘을 실으며 신

소재 의료기기 육성에 대한 의지를 밝혔다[6]. 탄소소재와 방사선 기술이 융합되면서 국내시장은 2013년 약 948억 원에서 2017년 1,397억 원까지 연평균 10.0%의 성장을 보이고 있다. 또한 신소재와의 기술융합을 통해 방사선 진단기기도 연평균 6.2%의 성장률을 보이며 의료기기 산업시장이 꾸준히 성장하고 있다[8]. 이러한 성장과 개발은 신소재 의료기기 및 의료기술의 지속적인 과학적 발전에 기여하여 현대의학을 한층 성장시켰다고 생각된다.

2.1. 탄소소재 의료기기의 발전

우리가 주목해야 할 것은 고부가가치 사업 분야인 탄소섬유 의료기기로 ‘메디컬 디바이스(Medical Device)’ 사업 분야이며, 방사선 투과성을 활용한 탄소섬유의 활용이 관심 있게 지켜봐야 할 분야이다. 인간의 기대수명이 올라가면서 생명을 다루는 의료기기의 효율성과 안정성은 주요 선결조건이 됐고, 어느 쪽에서 선점하느냐에 따라 미래의 의료 산업계를 좌우하게 될 거란 분석이다. 의료기기 산업분야에서도 최근 각광 받고 있는 신소재는 탄소섬유가 대표적이다. 과거에는 항공, 우주, 방산 및 반도체 등에서 고부가가치 복합재료로만 사용되어 왔다. 하지만 최근에는 탄소섬유의 경량화, 방사선 투과성, 생체적합성, 고강도, 고내열성, 열전도도, 전기전도성 등의 특성을 살리는 개발이 많이 이루어지면서 현재의료시장에서 탄소섬유는 방사선 투과장치 부품재료 및 인공관절, 의료보조기구제작 등에 이용되고 있다. 탄소섬유의 높은 방사선 투과성과 고강도, 고탄성 등의 특징을 이용한 방사선 Detector 및 종양학과의 검사 Table 제작에 이용되고 있다[2]. 특히, 최근에는 탄소나노튜브를 이용한 디지털 엑스선 튜브가 개발되면서 기존 장비보다 방사선량은 1/10 수준이지만 고해상도 영상을 구현하고 연속촬영이 가능한 차세대 방사선 장비의 개발도 이루어지고 있다[7]. 그 외에도 탄소섬유의 뛰어난 성형성과 탄소섬유만의 특징을 살린 의료보조기구들도 개발되고 있으며, 생체적합성의 특징을 살린 인공관절, 임플란트, 스텐트 등 의료의 다양한 분야에서 폭넓게 이용되고 있다. 이미 의료선진국인 일본과 미국 등이 정밀의료 ‘메디컬 디바이스’에 탄소섬유를 적용하기 시작하였고, 임플란트, 인공뼈, 인공관절 등 사람의 몸에 직접 이식되는 ‘생체적합성’ 의료기기를 만들기 시작하였다. 우리는 의료 분야의 방사선 전문가로서 방사선 검사 시 금속물질에 의한 장해음영의 발생으로 정확한 진단을 내리기 어려운 상황을 경험하기도 하였고, 자기장을 이용한 검사 시 금속물질에 의한 진단의 방해와 환자와 방사선사의 위험을 증가 시키는 요인도 경험하였다.

2.2. 탄소소재 의료기기의 현황

국내 탄소소재 의료기기 산업은 탄소 산업계에서 신소재를 가공 및 성형할 수 있는 기술과 장비들이 부재되어 있었으며, CFR-PEEK 중간재의 국내 생산 제품이 부족하여 고가의 해외 중간재를 사용하였으나, 최근 변화와 혁신을 추구하는 정부의 적극적인 개입으로 제조, 가공 장비의 국산화와 탄소 섬유 제조 기술 개발이 많이 이루어지고 있는 상황이다. 의료용 장비에서도 탄소섬유복합재의 수요가 크게 증가할 것으로 생각된다. 세계는 지금 빠른 고령화 사회로 접어들었으며, 거동이 불편하거나 편리한 이동을 위한 사람들의 삶의 질 향상을 위한 관심이 증대되는 가운데 휠체어, 보행보조기 등 가볍고 사용하기 편리한 이동수단을 중심으로 탄소섬유 활용이 확대될 전망이다. 의료용 장비의 다양한 분야에 탄소섬유복합재의 응용이 가능하고 시장 확대도 예상되나 아직까지 탄소섬유복합재를 활용한 의료용 장비 시장이 구축되어 있지 않아 현재의 시장규모 파악 및 미래 예측이 어려운 실정이다. 탄소섬유는 인체 및 생체 적합성이 우수하여 인공관절, 인공 뼈, 인공장기용 필터 등에 활용 가능하며 현재 연구가 진행 중이다. 가벼우면서 마모와 부식에 의한 강한 장점이 있어 의족 등의 의료 재료 분야에도 활용 가능하다. 또한, 자전거 몸체에 활용된 것처럼 가벼우면서 강도가 큰 특성을 살려 보행보조기 및 휠체어의 몸체를 제조하는데 활용 가능하며, 향후 고령화 시대를 고려하면 의료기기 분야의 수요 증가가 기대된다. 그러나 국내 탄소섬유 의료기기 업체들은 경험 부족과 정보의 부재로 인해 자체 개발할 수 있는 의료개발의 부재가 존재하고 있다. 우리는 이러한 국내 탄소소재 의료기기 산업상황을 인지하고 방사선 전문가로서의 기술과 경험을 살려 의료기기와 융합해 폭넓게 적용할 수 있는 다양한 방사선 영상 검사 분야를 접목하여 국내 의료기기 산업의 글로벌 경쟁력 강화를 위해 향후 기술개발과 방사선 연구에 적극 활용한다면 의료현장에서의 탄소섬유복합재 시장의 수요가 크게 증가할 것으로 생각된다(Fig.4-6).



Fig. 4. The figure above is the heating mat made of carbon fiber.



Fig. 5. The figure (5a, 5b) above is the heating mat made of carbon composites.

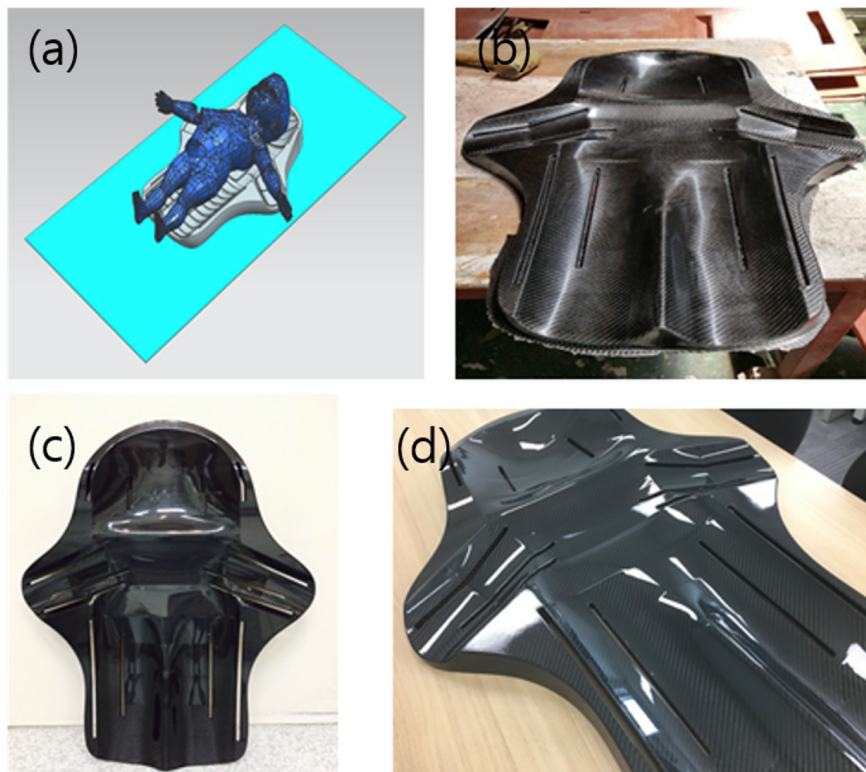


Fig. 6. The figure (6a, 6b, 6c, 6d) above is the infant holder made of carbon material.

2.3. 탄소소재 의료기기의 발전방향

우리사회가 고령사회로 접어들고 만성퇴행성질환, 각종 질병 등이 증가함에 따라 병원 내 노인환자, 암환자 및 장기입원환자들도 증가하고 있는 추세이다. 통계청의 2018 고령자 통계를 보면 전남(21.8%)이 가장 높고 그 다음이 경북(19.1%), 전북(19.0%), 강원(18.2%) 순으로 지방으로 내려갈수록 고령인구가 높아지는 것을 알 수 있다[9]. 이와 더불어 의료기기, 의료기술의 지속적인 과학적 발전은 현대의학을 한층 성장시키고 동시에 좀 더 정확하고 진단적 가치가 높은 검사를 요구하고 있다. 이에 따라 증가하는 검사 종류와 횟수, 영상 검사의 Series화 등으로 과거에 비해 검사 시간도 짧게는 수 분에서 길게는 수 시간까지 소요되고 있다. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) 2008 보고서를 보면 1988년 전 세계 진단용 의료 방사선 검사 횟수는 17.4억 회에서 2008년 36.6억 회로 약 2배 이상 증가하였으며, 국내의 경우에도 의료 방사선 사용빈도는 2007년 1억 6천만 건, 2011년 2억 2천만 건으로 그 빈도가 점차 증가하고 있다[10]. 이처럼 점진적으로 증가하는 환자들의 의료서비스의 질을 향상시키며 앞서 말한 탄소소재의 방사선 융합과 관련한 장점을 통해 병원을 이용하는 노인환자, 암환자의 부작용을 감소시킴으로써 면역기능 향상과 체온의 저하로 인해 생길 수 있는 합병증을 예방하고, 따뜻하고 편안한 검사 환경을 제공하여 보다 나은 검사 환경을 제공할 수 있다. 탄소소재의 내구성, 내마모성, 내열성 방사선 투과성, 열전도도와 높은 전기전도성을 통해 부가가치가 뛰어난 의료기기로 발전시켜 노인환자 및 암환자들처럼 건강한 성인에 비해 체온조절이 민감하지 못하고, 체온의 저하가 환자의 면역기능억제 및 다양한 합병증을 초래할 수 있기 때문에 항온항습이 요구되는 차가운 검사실 내부에서 검사를 시행하기에는 무리가 있다[11]. 이와 같은 탄소소재와 방사선 기술이 융합할 수 있는 아이디어를 통해 장시간 지속되는 핵의학적인 검사 및 치료에 있어 체온 유지 및 면역력을 증가시키기 위하여 탄소섬유의 여러 특성 중 높은 방사선 투과성과 전기저항이 작아 전기전도도가 뛰어난 장점을 이용하여 의료 현장에 적용한다면 탄소소재의 활용으로 의료서비스의 질을 향상시킬 수 있을 것이라 생각한다. 우리는 국내 탄소소재 의료기기 산업상황을 인지하고 의료기기의 발전에 기여할 수 있도록 노력하며, 방사선 전문가로서 기술과 경험을 살려 의료기기와 융합해 폭넓게 적용할 수 있는 다양한 핵의학 검사 분야와 방사선 영상 검사 분야를 발전시킬 수 있는 아이템을 발굴하고, 국내 의료기기 산업의 글로벌 경쟁력 강화와 의료서비스의 질적 향상을 위해 향후 기술개발과 탄소소재의 연구에 적극적으로 임해야 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 2023년 원광보건대학교 교내연구비 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

1. Lee TH, Kil SC. Recent trends in the application of carbon fiber. J Korean Mil Sci Technol. 2012;15(4):492-501. DOI: <https://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2012.15.4.492>
2. Seo MK, Park SJ. Manufacturing methods and application fields of carbon fibers. Polym Sci Technol. 2010;21(2):130-40. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06122191>
3. R&D정보센터. 국가주력 6대 탄소산업 정부정책과 국내·외 산업 실태분석 및 발전전망. 2014.
4. Korea Medical Devices Industry Association. Medical devices industry statistics. Seoul: Korea Medical Devices Industry Association; 2012. Retrieved from <http://www.kmdia.or.kr/KO/document center/center01.asp>
5. Heo Y. X-ray medical imaging device technology and industry trends. KEIT Issue Report. 2011;9:1-15.
6. Kim DJ. New material medical device market trend. Medical Device Information. 2019;71(14).
7. Song YH, Kang JT, Kim JW, Choi YC, Park SR, Jeong JW. Trends on the development of carbon nanotube-based digital x-ray tube. Electron Telecommun Trends. 2016;31(2):116-23. Retrieved from <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=JAKO201652057195894&oCn=JAKO201652057195894&dbt=JAKO&journal=NJOU00291002>
8. 변영호, 정혜경. 방사선 이용기술. KISTEP 기술동향브리프. 2018;13:10-15.

9. 통계청. 2018 고령자 통계. 2018.
10. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2008 Report, Volume I, Annex A. New York: United Nations; 2010. Retrieved from https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I.pdf
11. Gu HS. The Effects of the warmed carbon dioxide insufflating on body temperature and thermal discomfort and post-anesthetic recovery in the elderly colorectal cancer patient with laparoscopic surgery. Korean Data Analysis Society. 2013;15(5):2589-603. Retrieved from <https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08963223>