

# 광대역 인공자기도체 기반 저자세 HF/VHF 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나

이 종 선\*, 권 오 현\*, 황 금 철\*

## Low-Profile HF/VHF Spidron Fractal Dipole Antenna Based on the Broadband Artificial Magnetic Conductor

Jong Seon Lee\*, Oh Heon Kwon\*,  
 Keum Cheol Hwang\*

### 요 약

본 논문에서는 인공자기도체 기반 low-profile 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나를 제안한다. HF/VHF 대역에서 높은 투자율 특성을 갖는 페라이트를 적용하여 소형 광대역 인공자기도체를 설계하였다. 인공자기도체와 결합된 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나는 HF/VHF 대역에서 VSWR 3.5 이하 특성을 만족하도록 설계되었다. 측정된 3.5:1 이하 VSWR 주파수 대역은 27-262 MHz (9.7:1)로 시뮬레이션 결과와 유사하다. 또한 안테나의 성능을 검증하기 위해서 안테나의 수신 전력을 측정하였으며, 상용 안테나와의 수신 전력을 비교하였다.

**Key Words** : artificial magnetic conductor, dipole antenna, electrically small antenna, ferrite, low-profile

### ABSTRACT

In this paper, a low-profile spidron fractal dipole

antenna based on artificial magnetic conductor is proposed. A compact broadband artificial magnetic conductor (AMC) was designed by applying ferrite with high permeability in the HF/VHF band. The spidron fractal dipole antenna combined with AMC was designed to satisfy VSWR 3.5 or less in HF/VHF band. The measured VSWR frequency band below 3.5:1 is 27-262 MHz (9.7:1), which is similar to the simulation result. In addition, the received power of the antenna was measured and compared with a commercial antenna for verify the performance of the antenna.

### 1. 서 론

군사 분야 및 재난 통제 분야에서 활용되는 HF(high-frequency)/VHF(very-high frequency) 대역은 전기적 파장이 1-100 m로 길어 안테나의 물리적인 크기가 크다. 따라서 HF/VHF 대역에서 동작하는 안테나의 크기를 소형화하려는 연구가 지속되어왔다<sup>1</sup>. 동작 주파수의 파장 대비 전기적 크기가 작은 안테나를 전기적 소형 안테나(electrically small antenna)라고 한다<sup>2</sup>. 전기적 소형 안테나는 높은 Q 값을 갖기 때문에 동작 대역폭에 제한이 있다<sup>3-4</sup>. 전기적 소형 안테나의 좁은 동작 대역폭을 개선하려는 방법이 제안되었다<sup>5-6</sup>.

인공자기도체(artificial magnetic conductor)는 안테나와 인공자기도체 간의 mutual coupling을 통해 동작 대역폭 특성을 개선할 수 있고 안테나의 소형화 또한 가능하다<sup>7</sup>. 그뿐만 아니라 인공자기도체를 반사판으로 활용할 때 PEC(perfect electric conductor)와 달리 반사판과 안테나 간격이 λ/4보다 좁더라도 입사파와 반사파의 위상이 같아 low-profile 특성을 구현할 수 있다<sup>8</sup>.

본 논문에서는 인공자기도체 기반의 low-profile 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나를 제안한다. HF/VHF 대역에서 높은 투자율을 갖는 페라이트를 사용하여 소형 광대역 인공자기도체 단위 구조를 설계하였다.

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다 (UD190033ED).

• First Author : (ORCID:0000-0002-1505-260X)Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, bleu9512@skku.edu, 학생(석·박사통합과정), 학생회원

◦ Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-8074-1137)Department of Electronic and Electrical Engineering, Sungkyunkwan University, khwang@skku.edu, 정교수, 정회원

\* Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, 학생회원

논문번호 : 202208-174-A-LU, Received August 12, 2022; Revised September 6, 2022; Accepted September 6, 2022

그 후 인공자기도체가 적용된 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나가 HF/VHF 대역폭에서 동작하도록 최적 설계 되었다. 기존에 연구된 안테나<sup>10)</sup>보다 더 넓은 대역의 인공자기도체와 소형화된 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나를 제안한다.

## II. 안테나 설계

그림 1(a)는 제안된 인공자기도체 단위 구조의 형상이다. 단위 구조는 유전상수  $\epsilon_r=4.3$ , 손실탄젠트  $\tan \delta=0.025$ 인 FR-4 기판과 HF/VHF 대역에서 높은 투과율을 갖는 MP2106-OM0 페라이트<sup>11)</sup>로 구성된다. 제안된 단위 구조는 두께  $t_s=1.6$  mm의 FR-4 기판 사이에 높이  $t_f=10$  mm인 페라이트가 위치하여 총 13.2 mm의 두께를 갖는다. 단위 구조 폭  $W_{AMC}$  및 간격  $G_p$ 는 각각 100 mm, 20 mm이다. 그림 1(b)는 시뮬레이션 시 적용된 단위 구조 경계 조건이다. 인공자기도체의 주기 배열 특성을 고려하여 각 면의 경계 조건을 설정하였다. 서로 마주 보는 면을 PEC

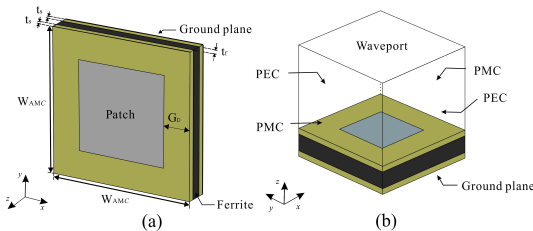


그림 1. 인공자기도체 단위 구조: (a) 단위 구조 형상, (b) 단위 구조 경계 조건  
Fig. 1. Unit cell of the AMC: (a) shape of unit cell, (b) unit cell boundary condition.

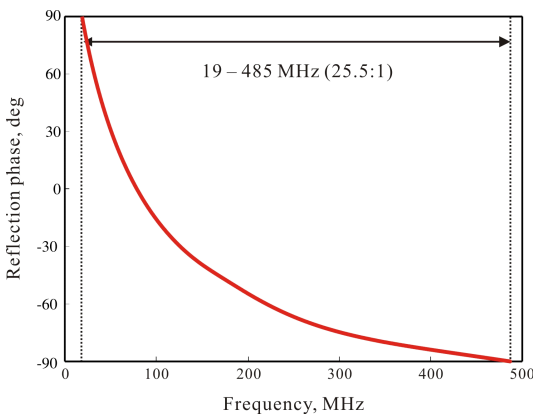


그림 2. 시뮬레이션 된 인공자기도체 단위 구조의 반사 위상 특성  
Fig. 2. Simulated reflection phase of unit cell of the AMC.

와 PMC(perfect magnetic conductor)로 설정하였으며 인공자기도체 표면에서의 반사 위상 특성을 확인하기 위해 +z축에 Waveport를 위치하였다.

그림 2는 시뮬레이션 된 인공자기도체 단위 구조의 반사 위상 특성이다. 인공자기도체의 동작 대역폭은 입사파에 대한 반사파의 위상이  $\pm 90^\circ$ 인 주파수 대역을 의미한다. 제안된 단위 구조의 동작 대역폭은 19-485 MHz (25.5:1)이다.

그림 3(a)는 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나의 단일 소자 형상이다. 소자는 윗면  $W_u$ , 밑면  $W_b$ , 높이  $h$ 가 각각 11mm, 186 mm, 141 mm인 사다리꼴의 좌우에 각각 3개의 스피드론 프랙탈이 결합된 형상이다. 그림 3(b)는 스피드론 프랙탈의 형태이다. 단일 스피드론 프랙탈은 높이  $a_1=50\sqrt{3}$  mm, 밑변  $b_1=50$  mm,  $\alpha=30^\circ$ 인 삼각형  $T_1$ 을 기반으로 한다. 비례 인자(scale factor)는  $1/\sqrt{3}$ 이며 축소된 삼각형  $T_2$ 는 삼각형  $T_1$ 의 빗면에 부착된다. 동일한 방법으로 5회 축소 반복되어 스피드론 프랙탈의 형태를 구성한다<sup>11)</sup>.

그림 4(a)는 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나의 형상이다. 스피드론 프랙탈 형상의 다이폴은 길이  $W=300$  mm, 두께  $t_d=3.2$  mm인 FR-4 기판에 설계되었다. 다이폴 안테나의 소자는 기판의 윗면과 아랫면에 각각 위치한다. 그림 4(b)는  $3 \times 3$  인공자기도체의 형상이다. 다이폴 안테나의 폭과 동일하도록 인공자기도체의 개수를 정하였다. 안테나는 동축 선로를 통해 급전되며 인공자기도체 중심부에  $r_g=1$  mm만큼 도체를 제거하여 인공자기도체와 동축선로 간의 단락을 방지하였다. 그림 4(c)는 인공자기도체와 결합된 안테나의 측면도이다. 다이폴 안테나와 인공자기도체는  $gap=0.5$  mm만큼 떨어져 있다.

그림 5는 인공자기도체와 결합된 안테나의 VSWR

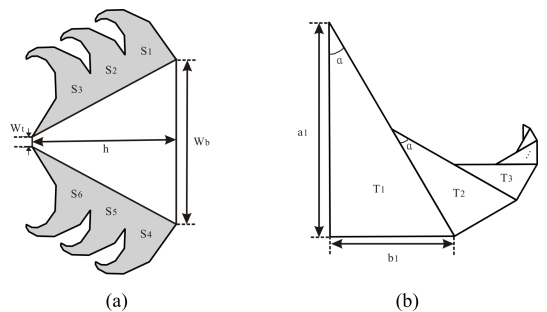


그림 3. 스피드론 프랙탈 다이폴 소자 형상: (a) 다이폴 안테나의 단일 소자, (b) 스피드론 프랙탈의 형태  
Fig. 3. Configuration of the spidron fractal dipole antenna: (a) single element of the dipole antenna, (b) form of the spidron fractal.

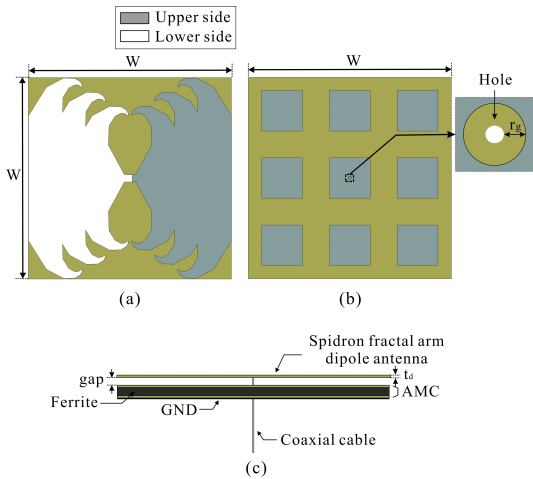


그림 4. 인공자기도체와 결합된 안테나의 구성: (a) 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나, (b) 3×3 인공자기도체, (c) 측면도  
 Fig. 4. Composition of the antenna combined with AMC: (a) spidron fractal dipole antenna, (b) 3×3 AMC, (c) side view.

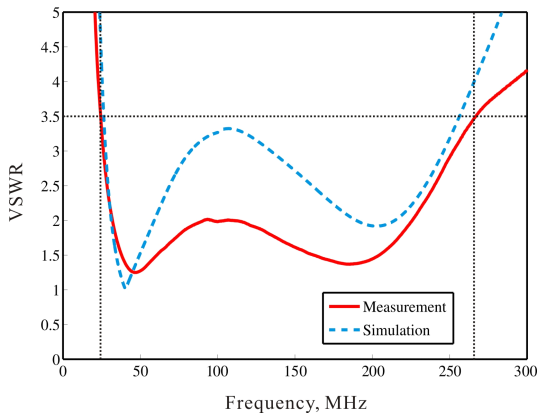


그림 5. 인공자기도체와 결합된 안테나의 VSWR 특성  
 Fig. 5. VSWRs of the antenna combined with AMC.

특성이다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과 모두 27-262 MHz 대역에서 3.5:1 이하 VSWR 특성을 만족하는 것을 확인하였다.

그림 6은 시뮬레이션 된 인공자기도체와 결합된 안테나의 방사 패턴이며 30 MHz, 110 MHz, 180 MHz, 260 MHz에서의 패턴이다. 안테나의 전후방비는 1.5 - 4.1 dB이며 후면에 있는 인공자기도체의 영향으로 주 방사 방향이 +Z축인 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 시뮬레이션 된 인공자기도체와 결합된 안테나의 이득 특성이다. 제안된 안테나는 27-262 MHz 대역에서 -33 - -3.6 dBi의 이득을 갖는 것을 확인할

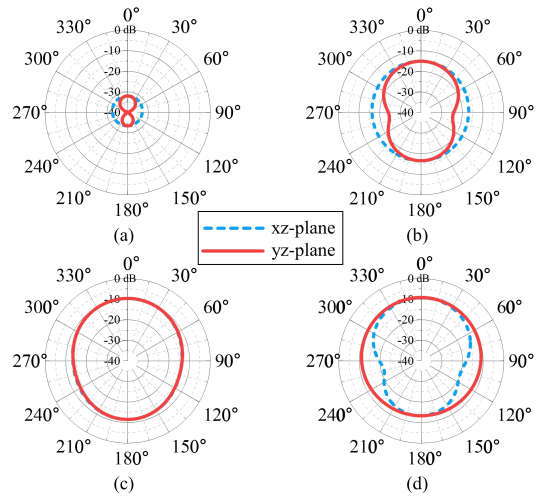


그림 6. 시뮬레이션 된 인공자기도체와 결합된 안테나의 방사 패턴: (a) 30 MHz, (b) 110 MHz, (c) 180 MHz, (d) 260 MHz  
 Fig. 6. Simulated radiation patterns of the antenna with AMC: (a) 30 MHz, (b) 110 MHz, (c) 180 MHz, (d) 260 MHz.

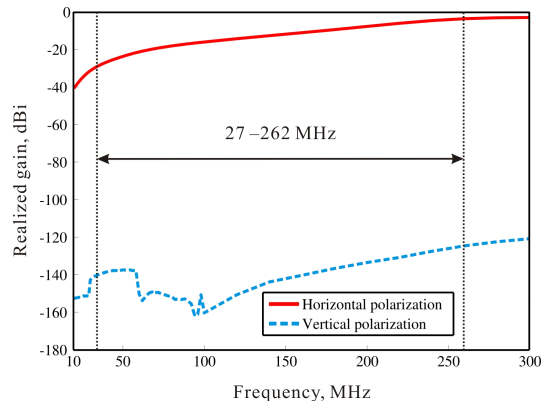


그림 7. 시뮬레이션 된 인공자기도체와 결합된 안테나의 이득 특성  
 Fig. 7. Simulated gain characteristics of the antenna with AMC.

수 있다. 또한 주 방사 방향인 +Z축에서 수평 편파 특성을 갖는다.

### III. 안테나 제작 및 측정

설계된 인공자기도체와 결합된 low-profile 안테나의 성능을 검증하기 위하여 안테나의 실물을 제작하고 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

그림 8은 제작된 인공자기도체와 결합된 안테나를 나타낸다. 인공자기도체와 안테나 사이의 간격을 구형

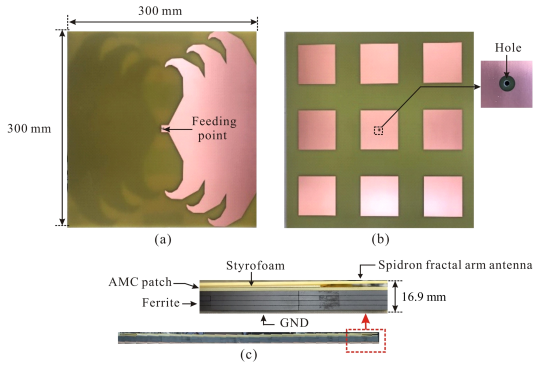


그림 8. 제작된 인공자기도체와 결합된 안테나 사진: (a) 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나, (b) 3×3 인공자기도체, (c) 측면도  
 Fig. 8. Photograph of the fabricated antenna combined with AMC: (a) spidron fractal dipole antenna, (b) 3×3 AMC, (c) side view.

하기 위하여 두께가 0.5 mm인 스티로폼을 사용하였다. 2.5 mm 두께를 갖는 페라이트를 4개 적층하여 인공자기도체를 구현하였으며 제작된 안테나의 전체 크기는 300×300×16.9 mm<sup>3</sup>이다.

제작된 안테나의 수신 전력 특성을 검증하기 위하여 상용 안테나<sup>[12]</sup>를 선정 후 동일한 송신 안테나<sup>[13]</sup>에 대한 수신 전력 특성을 비교 분석하였다. 상용 안테나는 데이터 시트를 참고하여 1,000×1,000 mm<sup>2</sup>의 접지면을 동박과 스티로폼으로 구현 후 측정하였다.

그림 9는 제안된 안테나와 상용 안테나의 수신 전력 비교 환경이다. 차량의 상부에 상용 안테나와 제안된 안테나를 배치하고 동일한 송신 안테나에 대한 수신 전력을 측정하였다. 송신 안테나와 수신 안테나의 거리는 130 m이며 가능한 직선상에 안테나들을 배치하였다.

그림 10 제안된 안테나와 상용 안테나의 수신 전력

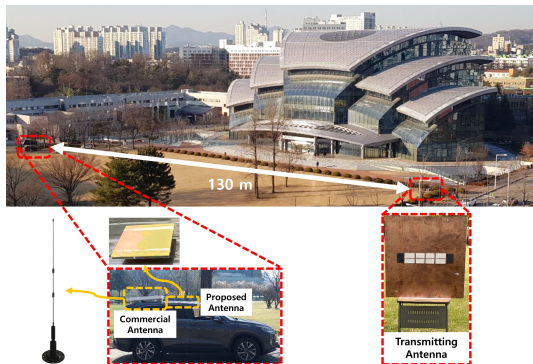


그림 9. 제안된 안테나와 상용 안테나의 수신 전력 비교 환경  
 Fig. 9. Received power comparison environment of the proposed and commercial antenna.

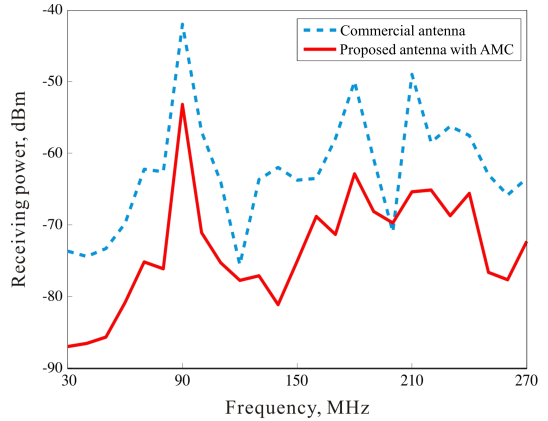


그림 10. 제안된 안테나와 상용 안테나의 수신 전력 특성  
 Fig. 10. Received power of the proposed and commercial antenna.

특성이다. 송신 안테나에서의 송신 전력은 17 dBm이며, 수신 전력은 제안된 안테나의 VSWR 특성을 고려하여 30-270 MHz까지 10 MHz 간격으로 측정하였다. 수신 전력 특성 차이는 각 안테나의 방사 패턴과 이득 특성으로 인해 발생하며 제안된 안테나와 상용 안테나의 평균 수신 전력 차는 10.9 dB이다. 상용 안테나의 높이는 1,000 mm이며 제안된 안테나의 높이는 16.9 mm로 이를 고려하였을 때 제안된 안테나가 low-profile 특성이 요구되는 수신용 안테나로 활용 가능함을 확인하였다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 페라이트가 적용된 인공자기도체 기반 low-profile HF/VHF 스피드론 프랙탈 다이폴 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 3.5:1 이하 VSWR 대역폭은 27-262 MHz (9.7:1)이며 전기적 크기는 0.027×0.027×0.0015 λ<sub>c</sub><sup>3</sup>(λ<sub>c</sub>은 최저 동작 주파수에서의 파장)이다. 제안된 안테나와 상용 안테나와의 비교 분석을 통해 양호한 수신 전력을 갖는 것을 확인하였다. 따라서 제안된 인공자기도체 기반 안테나는 소형화 및 low-profile 특성이 요구되는 HF/VHF 대역의 안테나에 활용할 수 있다.

#### References

[1] J. M. Baker and M. F. Iskander, "A new design approach for electrically small high-frequency antennas," in *IEEE Ant. and Wirel. Propag. Lett.*, vol. 14, pp. 402-405,

2015.  
(<https://doi.org/10.1109/LAWP.2014.2363138>)
- [2] S. R. Best and D. L. Hanna, "A performance comparison of fundamental small-antenna designs," in *IEEE Ant. and Propag. Mag.*, vol. 52, no. 1, pp. 47-70, Feb. 2010.  
(<https://doi.org/10.1109/MAP.2010.5466398>)
- [3] A. Bouvy and N. Behdad, "A heuristic study of the bandwidth potential of electrically small, platform-based antennas at the hf band," in *IEEE Trans. Ant. and Propag.*, vol. 69, no. 2, pp. 623-635, Feb. 2021.  
(<https://doi.org/10.1109/TAP.2020.3016405>)
- [4] G. Shin, M. Kong, S.-H. Lee, and I.-J. Yoon, "Investigation of electrically small folded slot spherical helix magnetic dipole antenna," *The J. KIEES*, vol. 28, no. 4, pp. 261-268, 2017.  
(<https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2017.28.4.261>)
- [5] S. Mi, Y. H. Lee, and Z. Shen, "Ferrite coating design for near-ground hf bowtie antenna," in *IEEE Trans. Ant. and Propag.*, vol. 65, no. 4, pp. 2074-2078, Apr. 2017.  
(<https://doi.org/10.1109/TAP.2017.2670439>)
- [6] M. -C. Tang, X. Chen, M. Li, and R. W. Ziolkowski, "Particle swarm optimized, 3-D-printed, wideband, compact hemispherical antenna," in *IEEE Ant. and Wireless Propag. Lett.*, vol. 17, no. 11, pp. 2031-2035, Nov. 2018.  
(<https://doi.org/10.1109/LAWP.2018.2847286>)
- [7] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Reflection phase characterizations of the EBG ground plane for low profile wire antenna applications," in *IEEE Trans. Ant. and Propag.*, vol. 51, no. 10, pp. 2691-2703, Oct. 2003.  
(<https://doi.org/10.1109/TAP.2003.817559>)
- [8] A. P. Feresidis, G. Goussetis, S. Wang, and J. C. Vardaxoglou, "Artificial magnetic conductor surfaces and their application to low-profile high-gain planar antennas," in *IEEE Trans. Ant. and Propag.*, vol. 53, no. 1, pp. 209-215, Jan. 2005.  
(<https://doi.org/10.1109/TAP.2004.840528>)
- [9] O. H. Kwon and K. C. Hwang, "Low-profile spidron fractal dipole antenna with a ferrite-loaded artificial magnetic conductor for manpack applications" *Applied Sci.*, vol. 10, no. 24, 8843, 2020.  
(<https://doi.org/10.3390/app10248843>)
- [10] Laird, "MP2106-OM0," Available: <https://www.mouser.com/datasheet/2/987/MP2106-0M0-1650723.pdf>
- [11] K. C. Hwang, "Broadband circularly-polarised Spidron fractal slot antenna," *Electronics Lett.*, vol. 45, no. 1, pp. 3-4, 2009.  
(<https://doi.org/10.1049/el:20092876>)
- [12] ALARIS, "OMNI-A0245," Available:<https://www.alarisantennas.com/wp-content/uploads/2017/06/brochures/OMNI-A0245%20Version%201.2.pdf>
- [13] W. B. Park, T.-V. Son, Y. Yang, K.-Y. Lee, B. Yu, J. Park, H. You, and K. C. Hwang, "A low-profile ferrite dipole VHF antenna for integrated mast applications" *Applied Sci.*, vol. 10, no. 5, 1642, 2020.  
(<https://doi.org/10.3390/app10051642>)