Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 12, No. 5 pp. 2197-2202, 2011

DOI: 10.5762/KAIS.2011.12.5.2197

중공을 가지는 치과용 임플란트의 3차원 응력해석

김진곤[1*], 이재곤[1]
[1]대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

Three Dimensional Stress Analysis of a Dental Implant with Central Cavity

Jin-Gon Kim[1*] and Jae-Kon Lee[1]
[1]**School of Mechanical and Automotive Engineering, Catholic University of Daegu**

요 약 본 논문에서는 중공을 가지는 짧은 치과용 임플란트의 생체역학적인 특성을 3차원 유한요소해석을 통하여 분석하였다. 고려된 치과용 짧은 임플란트는 골유착성을 향상시키기 위해 트리패닝 드링 등에 의해 남겨진 치골과 결합될 수 있는 중공부를 가진다. 연구를 위해 Bicon사의 길이가 짧은 임플란트를 기본 모델로 삼아 중공부가 임플란트 주변 치골의 응력분포에 주는 영향을 분석하였다. 중공부 길이, 직경 및 나사산 등의 형상변수에 따른 반복적인 유한요소해석을 효과적으로 수행하기 위하여 ANSYS APDL을 이용하여 매개변수화된 유한요소모델을 구성하였다. 해석결과 중공부를 가지는 경우 특히 경사하중 하에서 해면골에서 발생하는 최대응력값이 크게 감소하였으며, 중공부의 형태가 해면골에서의 응력분포에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

Abstract In this study, we propose a new short dental implant and investigate its bio-mechanical characteristics by using three dimensional finite element analyses. The proposed dental implant has the central cavity which can be integrated with the core of cancellous bone remained by trepanning drill. We take the Bicon short implant as a reference model for studying the effects according to the shape of cavity. The parametric finite element model using ANSYS APDL has been built to determine which length, diameter and thread of central cavity would be effective to dissipate stress. The reduction of undesirable stress in adjacent bone which can suppress bone defects and the eventual failure of implants. The numerical results shows that the cavity of well-determined shape has the beneficial effects on reducing the bone absorption in cancellous bone.

Key Words : Dental Impant, Central Cavity, Finite Element Analysis, Bone Absorption

1. 서론

치과용 임플란트는 자연치아가 상실되어 이를 대체하기 위한 인공치아를 지지하기 위해서 잇몸 내부의 턱뼈에 매식되는 금속의 고정물을 의미한다. 국내 및 세계 치과용 임플란트 시장은 경제성장, 고령인구의 증가, 복지수준의 향상에 따라 매년 평균 17% 정도의 성장세를 예측하고 있다. 인공치근으로써 치과용 임플란트는 빠른 골유착 형성, 주위 골조직과의 결합력 증대 및 골흡수(bone absorption) 방지를 위한 적절한 응력분산능력에 기하학적 형상이 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[1]. 임플란트의 기하학적 형상이 응력분산에 미치는 영향을 분석하기 위해 현재까지 유한요소해석이 가장 널리 사용되고 있다[2-8]. 최근에는 보다 정확한 해석결과를 얻기 위해서 3차원 유한요소해석을 적용한 임플란트의 형상 연구들이 많이 수행되고 있다[4-7]. 또한 해석기술과 컴퓨터의 발달과 더불어 비선형 유한요소해석을 임플란트 설계에 활용하는 연구들도 활발히 이루어지고 있다[8].

이러한 해석적 또는 실험적 연구들을 통하여 그림 1과 같은 다양한 형태를 가지는 치과용 임플란트들이 개발되

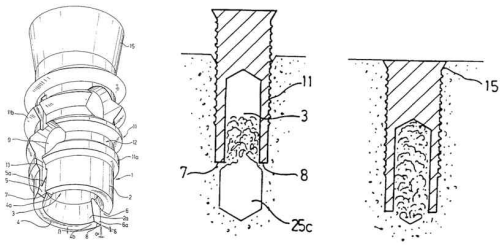
본 논문은 한국과학재단 기초연구사업(과제번호:2009-0073357)의 일환으로 수행되었습니다.
*교신저자 : 김진곤(kimjg1@cu.ac.kr)
접수일 11년 03월 09일 수정일 (1차 11년 04월 05일, 2차 11년 04월 08일, 3차 11년 04월 11일), 게재확정일 11년 05월 12일

고 있다. 대부분의 치과용 임플란트 제조회사들은 7-20mm까지 매우 다양한 길이의 임플란트를 제조하고있으며, 임플란트의 높은 수술 성공률을 위해서는 해부학적으로 가능한 긴 임플란트를 식립하는 것이 권장되고 있다. 이는 대부분의 임플란트 설계에서 3mm 길이가 증가하면 약 20-30%의 표면적 증가로 이어져 응력분산에 유리하다고 여겨졌기 때문이다. 짧은 임플란트(short implant)의 경우는 하치조 신경관 및 상악동 등에 의해 골량이 충분하지 못한 경우 상대적으로 낮은 수술 성공률을 보이는 것으로 알려져 있다. 이를 극복하기 위해서 임플란트의 표면 및 형상의 변화, 수술 방법의 변화 등 다양한 방법이 모색되고 있다.

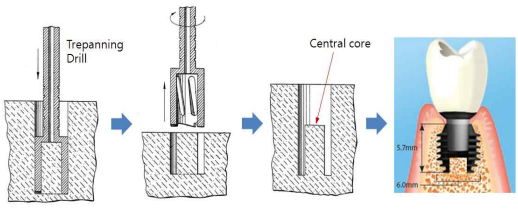
[그림 1] 다양한 치과용 임플란트

Guedj는[9] 그림 2와 같이 단이 긴 트리패닝 드릴을 이용하여 뼈에 구멍을 뚫은 후, 임플란트를 식립하면 임플란트 하부의 공간에 임플란트에 의해 후벼 파진(boring) 골이 채워져 골유착성을 향상시킬 수 있는 개념의 임플란트 특허를 1999년 출원하였다. 또한, 현재 골다공증으로 인해 골밀도가 낮은 환자에게 임플란트를 시술하기 위해 트리패닝 드릴을 이용하여 다른 부위에서 추출한 분쇄된 뼈를 식립 부위에 주입하는 시술법이 행하여지고 있다.

본 연구에서는 그림 3과 같이 트리패닝 드릴에 의해 남겨지거나 혹은 주입된 치조골과 유착될 수 있는 중공부를 가지는 짧은 임플란트의 생체역학적인 특성을 살펴보고자 한다. 코어 모양의 치골과 유착될 수 있는 중공을 가지는 제안된 치과용 임플란트는, 임플란트의 길이가 긴 경우 코어 모양 치조골이 매우 가늘어져 괴사될 위험성이 있다. 짧은 임플란트의 경우는 긴 임플란트에 비해서 수술 성공률이 낮은 편이지만, 가운데 중공부가 치골과 결합되어 응력분산 및 골융합력 향상에 효과가 있다면 짧은 임플란트의 수술 성공율을 높이는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 현재까지 중공부에서의 치골과의 결합이 임플란트의 응력분산에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구결과는 알려져 있지 않다.



[그림 2] US Patent 5,871,356 filed by Guedj



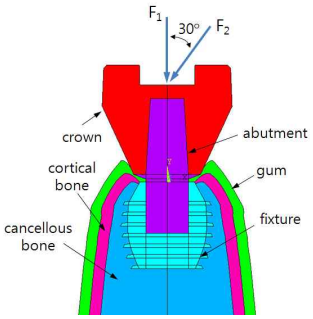
[그림 3] 중공부를 가지는 임플란트 개념도

연구를 위해 Bicon사의 길이 6mm, 직경 5.7mm의 짧은 임플란트를 기본 모델로 삼았다. 중공부가 짧은 임플란트 주변 치골의 응력분포에 주는 영향을 살펴보기 위하여 상용 유한요소해석 소프트웨어인 ANSYS를 사용하여 3차원 유한요소해석을 수행하였다. 중공의 직경, 높이 및 중공부의 나사산 모양 등에 따른 영향을 분석에 필요한 반복적인 해석을 효율적으로 수행하기 위해서, ANSYS APDL(ANSYS Parametric Design Language)를 이용하여 자동 유한요소모델링 프로그램을 구축하여 활용하였다. 유한요소해석을 통하여 짧은 치과용 임플란트가 중공을 가지는 경우 특정 경우 치골의 최대응력값 감소에 상당한 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

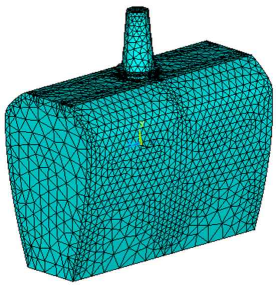
2. 유한요소모델링 및 해석

본 연구에서는 짧은 임플란트에서 중공부가 미치는 생체역학적인 영향을 살펴보기 위해서, 전 세계적으로 많이 사용되고 있는 그림 4와 같은 Bicon사의 짧은 임플란트(고정체 높이 5.7mm, 직경 6.0mm)를 기본 모델로 하여 상용 유한요소해석 소프트웨인 ANSYS를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 그림 4와 같이 임플란트는 해면골(cancellous bone)과 치밀골(cortical bone)로 구성된 악골에 드릴작업을 통해 임플란트를 식립한 후, 식립된 임플란트에 상부구조물인 지대주(abutment)와 크라운(crown)이 결합된 구조이다.

[그림 4] Bicon 짧은 임플란트



[그림 5] 초기 형상 및 하중 조건



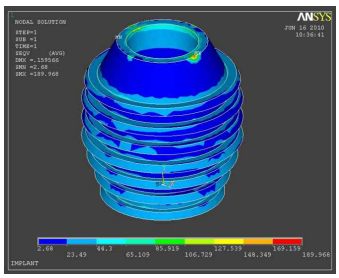
[그림 6] 3차원 유한요소모델링

그림 5는 해석하고자 하는 임플란트의 하중조건을 보여주고 있다. 하중은 참고문헌[5]에서 사용한 소구치의 평균 저작압(288 N)을 그림 5와 같이 교합면의 중심에 수직하중과 30도의 경사하중을 가하여 각 구성부와 지지조직에서 발생하는 응력의 변화와 크기를 구하였다. 유한요소해석의 정확도를 높이기 위해서 ANSYS의 3차원 8절점 고차 사면체 요소(Tetrahedral solid element)인 SOLID95를 사용하여 그림 6과 같이 모델링 하였다. 유한요소모델링에는 대략 79,000여개 정도의 솔리드 요소와 106,000여개의 절점이 사용되었다. 그리고, 결과에 큰 영향을 미치는 치밀골의 두께는 성인의 평균 두께인 0.75mm로 모델링하였다[1]. 임플란트 중공부는 치골의 코어부와 완전하게 결합이 이루어졌으며, 크기는 직경 2mm, 높이 1.2mm로 가정하였다. 해석에 사용된 물성치는 표 1과 같다. 각 재료의 물성은 균질성, 등방성, 선형탄성으로 가정하였으며, 경계조건으로는 좌우 양단의 자유도를 구속하였다.

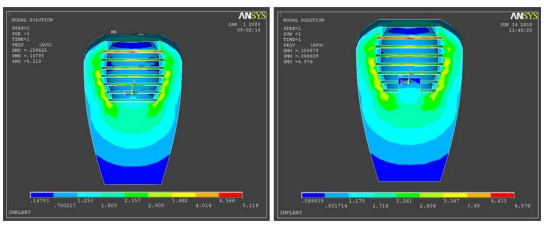
[표 1] 재료의 기계적 성질

Material	Elastic Modulus [GPa]	Poisson's Ratio
Fixture	116	0.34
Abutment	116	0.34
Cortical bone	13.7	0.3
Cancellous bone	1.37	0.3

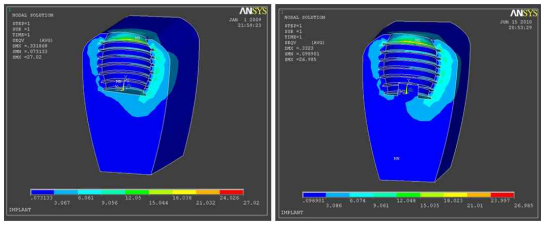
그림 7은 상기의 조건을 적용하여 해석한 임플란트 고정체(fixture)의 응력분포를 보여주고 있다. 그림 8과 9는 각각 수직하중과 경사하중을 받는 경우 중공의 유무에 따른 해면골에서의 응력분포를 보여주고 있다.(왼쪽은 중공부가 없는 경우이며 오른쪽은 중공부가 있는 경우) 그림 10은 중공부의 유무에 따른 하중별로 치골에 발생하는 최대응력의 크기를 비교한 결과를 보여주고 있다. 두 경우 모두 치밀골에서 발생하는 최대응력은 약간 감소하였다. 하지만 경사하중을 받는 경우 해면골에서의 최대응력값은 약 15% 감소하여 경사하중을 받는 경우 해면골에서 응력분산에 큰 효과가 있음을 알 수 있다. 이는 짧은 임플란트의 중공부로 인한 표면적 증가가 응력분산에 기여하는 것으로 판단된다.



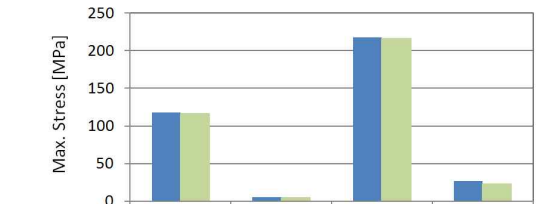
[그림 7] 수직하중을 받는 경우 고정체의 응력분포



[그림 8] 수직하중을 받는 경우 해면골의 응력분포



[그림 9] 경사하중을 받는 경우 해면골의 응력분포

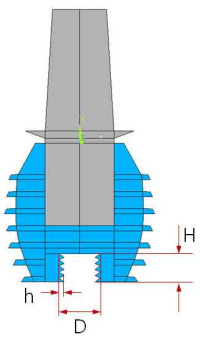


	vertical force		oblique force	
	cortical bone	cancellous bone	cortical bone	cancellous bone
without cavity	118.27	5.119	217.9	27.02
with cavity	116.16	4.976	215.7	22.937

[그림 10] 중공의 유무에 따른 치골의 응력분포

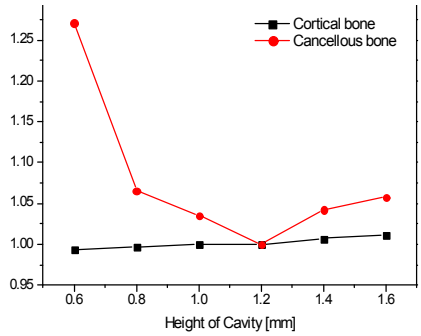
3. 중공부 영향 상세분석

전 절에서 짧은 임플란트의 중공부와 치골과의 결합이 해면골의 응력분포에 긍정적인 영향을 준다는 사실을 확인할 수 있었다. 본 절에서는, 그림 11과 같은 중공부의 직경(D), 높이(H) 및 나사산의 높이(h) 등과 같은 형상 변수가 응력분포에 미치는 영향을 보다 상세하게 분석하고자 한다. 비교를 위해 중공부의 치수가 D=2mm, H=1.2mm 그리고 h=0.3mm 인 경우 해면골에서 발생하는 최대응력값을 기준값으로 하여 나누어 무차원화시킨 값으로 나타내었다.

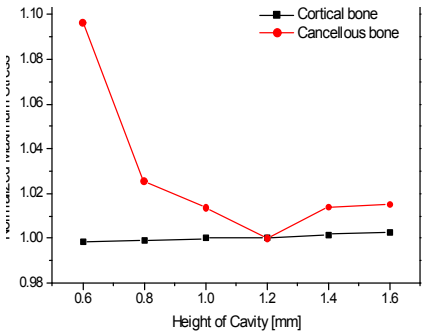


[그림 11] 임플란트 중공부 형상 변수

먼저 중공부의 높이에 따른 영향을 살펴보기 위하여, 중공부의 직경을 2mm로 고정한 후 높이를 0.6mm에서 1.6mm까지 0.2mm씩 변화시키면서 해석한 결과를 비교하였다. 그림 12과 13은 각각 수직하중과 경사하중을 받는 경우 치밀골과 해면골에서 발생하는 최대응력값의 변화를 보여주고 있다. 치밀골의 경우는 높이 변화에 따른 최대응력의 변화가 2% 내외로 크지 않지만, 해면골의 경우는 최대응력이 20% 이상 차이를 나타내고 있다. 특히, 치밀골에서는 중공부의 높이가 커질수록 최대응력값이 조금씩 커지지만, 해면골에서는 감소하다가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이로부터 중공부의 높이가 해면골에서의 응력분산에 무시할 수 없는 영향을 미침을 알 수 있다. 또한 수직하중 및 경사하중에 대해 적절하게 응력분산을 하는 최적의 높이를 해석을 통해 찾을 수 있음을 알 수 있다.



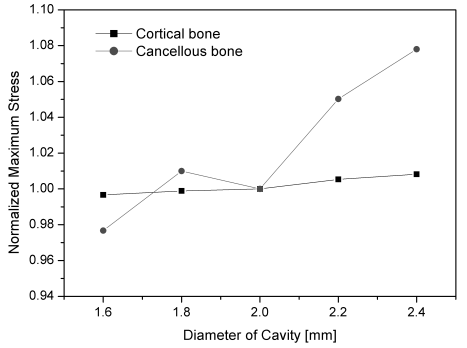
[그림 12] 수직하중을 받는 경우 중공부의 높이에 따른 치골의 최대응력값



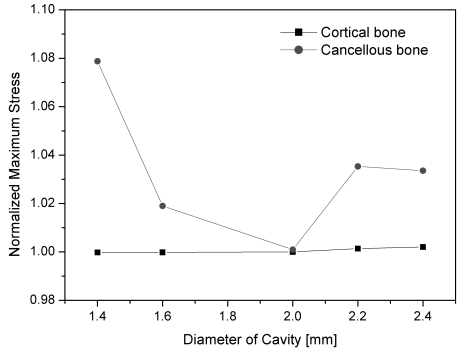
[그림 13] 경사하중을 받는 경우 중공부의 높이에 따른 치골의 최대응력값

다음으로 중공부의 직경 변화가 하중 분산에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 이를 위하여 중공부의 높이를 1.2mm로 고정한 후 직경을 1.6mm에서 2.4mm까지

0.2mm씩 변화시키면서 해석한 결과를 비교하였다. 그림 14와 15는 각각 수직하중과 경사하중을 받는 경우 중공부의 직경변화에 따른 치밀골과 해면골에서 발생하는 최대응력값의 변화를 보여주고 있다. 수직하중을 받는 경우, 직경변화에 따른 치밀골에서의 최대응력값은 1~2% 내외의 차이를 보이지만, 해면골에서는 최대응력값이 12% 정도 차이를 보였다. 경사하중을 받는 경우는 직경변화에 따른 해면골에서의 최대응력값이 약 8% 내외의 차이를 보여주고 있다. 주목할 점은 중공부의 직경변화보다는 높이변화가 해면골의 최대응력에 상대적으로 큰 영향을 줌을 알 수 있다.

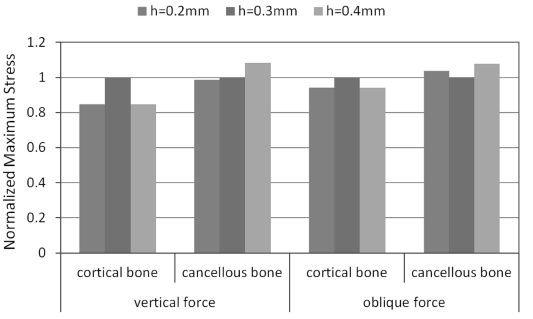


[그림 14] 수직하중을 받는 경우 중공부의 직경에 따른 치골의 최대응력값



[그림 15] 경사하중을 받는 경우 중공부의 직경에 따른 치골의 최대응력값

마지막으로 중공부가 삼각형의 나사산을 가지는 경우 나사산의 높이가 임플란트의 하중 분산에 미치는 영향을 살펴보았다. 중공부가 삼각 나사산을 가질 경우, 그림 16과 같이 수직하중과 경사하중 모두에서 해면골에서 최대응력값이 증가하였지만, 치밀골에서는 최대응력값은 다소 감소하였다. 이러한 결과들로부터 중공부의 나사산의 높이를 적절하게 설계하면 치조골에서 발생하는 최대응력값을 감소시키는데 어느 정도 효과가 있을 것으로 보인다.



[그림 16] 삼각형 나사산의 높이에 따라 치골에서 발생하는 최대응력값 비교

4. 결 론

본 연구에서는 치골과의 유착성을 향상시킬 수 있는 중공부를 가지는 새로운 형태의 치과용 짧은 임플란트를 제안하고 그 성능을 살펴보았다. 이를 위해 Bicon사의 짧은 임플란트를 기본 모델로 삼아 중공부가 치골의 응력분포에 미치는 영향을 3차원 유한요소해석을 통하여 상세하게 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 중공부가 있는 경우, 경사하중 하에서 해면골에서 최대응력값이 약 15% 감소하여 치밀골보다 응력분산에 큰 효과가 있음을 알 수 있었다.

(2) 중공부의 높이, 직경 및 나사산 모양 등에 따른 응력해석 결과로부터 적절한 중공부의 형상이 해면골에서의 응력분산에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 특히 중공부의 직경변화보다는 높이변화가 해면골의 최대응력값에 상대적으로 더 큰 영향을 주었다.

(3) 중공부각 삼각형 나산산을 가지는 경우 수직하중과 경사하중 모두에서 해멸골에서는 최대응력값이 증가하였지만, 치밀골에서는 감소하였다. 하지만 나사산의 높이 변화는 중공부의 직경과 높이변화보다는 상대적으로 응력분산의 효과가 적은 것으로 나타났다.

(4) 이러한 해석결과들은 향후 짧은 임플란트 중공부의 형상 최적설계 등에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] J. H. Lee, V. Frias, K. W. Lee, R. F. Wright, Effect of Implant Size and Shape on Implant Success Rates: A Literature Review, The Journal of Prosthetic Dentistry, V. 94, No. 4, pp. 377-381, 2005.

[2] Y. D. Kwon, S. H. Jang, S. H. Park, Stress Analysis of Hybrid Implant Using Finite Element Method, Trans. of the KSME(A), V. 32, No. 3, pp. 290-296, 2008.

[3] D. Bozkaya, S. Muftu, A. Muftu, Evaluation of Load Transfer Characteristics of Five Different Implants in Compact Bone at Different Load Levels by Finite Element Analysis, The Journal of Prosthetic Dentistry, V. 92, No. 6, pp. 523-530, 2004.

[4] J. S. Han, J. S. Kim, J. H. Choi, Three Dimensional Optimum Design of Endosseous Implant in Dentistry by Multilevel Response Surface Optimization, Trans. of the KSME(A), V. 28, No. 7, pp. 940-947, 2004.

[5] S. K. Byun, W. H. Park, Y. S. Lee, Three Dimensional Finite Element Stress Analysis of Five Different Taper Design Implant Systems, The Journal of Korean Academy of Prosthodontics, V. 44, No. 5, pp. 584-593, 2006.

[6] L. Himmlova, T. Dostalova, A. Kacovsky, S. Konvickova, Influence of Implant Length and Diameter on Stress Distribution: A Finite Element Analysis, The Journal of Prosthetic Dentistry, V. 91, No. 1, pp. 20-25, 2004.

[7] Y. H. Seo, M. S. Yang, H. S. Yang, S. W. Park, H. O. Park, H. P. Lim, Three-dimensional Finite Element Analysis of Stress Distribution for Different Implant Thread Slope, The Journal of Korean Academy of Prosthodontics, V. 45, No. 4, pp. 482-491, 2007.

[8] N. Wakabayashi, M. Ona, T. Suzuki, Y. Igarashi, Nonlinear Finite Element Analyses: Advances and Challenges in Dental Applications, Journal of Dentistry, V. 36, pp.463~471, 2008.

[9] L. Guedj, Dental Implants and Boring Instruments for Implanting, US Patent, 5871356, 1999.

김 진 곤(Jin-Gon Kim) [정회원]

- 1987년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (기계공학학사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (기계공학박사)
- 1998년 3월 ~ 2001년 2월 : 삼성전자 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>
전산역학, 생체역학, 최적설계

이 재 곤(Jae-Kon Lee) [정회원]

- 1985년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (기계공학학사)
- 1996년 8월 : 미국 Washington 대 (기계공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1997년 4월 : 현대자동차
- 1997년 9월 ~ 현재 : 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>
복합재료, 지능재료