

http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.4.153

JIWIT 2012-4-19

스테레오 카메라와 측정에 의한 3D 대상체 포인트 클라우드의 불규칙 삼각 매싱 기반 체적 계산

The Stereo Camera Measurement of Point Cloud on 3D Object and the Calculation of Volume Based on Irregular Triangular Mesh

이영대*, 조성윤*, 김경*, 이동규**

Young Dae Lee*, Sung Youn Cho*, Kyung Kim*, Dong Gyu Lee**

요 약 안전하고 쾌적한 도시 환경을 조성하기 위해 폐기물 매립 시설은 필요하며 폐기물 부피 관리의 신뢰성 및 용량 정보의 정확성을 파악하는 것이 필요하다. 이 논문에서는 쓰레기 매립의 표준화를 위한 일환으로 쓰레기 체적을 주기적으로 계산하는 알고리즘을 제시하였다. 스테레오 카메라 캘리브레이션 이후에 대상체의 표면에 대한 포인트 클라우드(point cloud)를 얻을 수 있었으며 이것을 물체의 체적 계산 알고리즘의 입력으로 선택하였다. 비균일 삼각 격자 기반 매싱(non-uniform triangularmeshing) 방법에 기초한 두 개의 체적 계산 알고리즘을 제안하였으며 알고리즘의 타당성을 시뮬레이션과 실제 실험을 통해 입증하였다. 제시된 알고리즘은 쓰레기 매립의 체적 계산 뿐 만이 아니라 삼차원 객체의 일반적인 체적 계산을 위한 알고리즘으로도 사용될 수 있다.

Abstract For the construction of safe and clear urban environment, it is necessary that we identify the rubbish waste volume and we know the accuracy volume. In this paper, we proposed the algorithm computes the waste volume periodically for the way of waste repository standard. After stereo camera calibration, we obtained the point cloud on the surface of the object and took this as the input of the calculation algorithm of the object volume. We proposed the volume calculation algorithms based on the non-uniform triangular meshing methods and verified the validity of the algorithm through simulation and real experiments. The proposed algorithm can be used not only as the volume calculation of the waste repository but also as the general volume calculation of a three dimensional object..

Key Words : Volume Calculation, Stereo Camera System, Camera Calibration

1. 서 론

정부의 폐기물 에너지화 정책에도 불구하고 2009년말 기준 전국 사용중인 매립지는 217개소로 2009년 한 해동

안 매립된 생활폐기물의 양이 900,000m³에 이른다. 매립은 유일한 폐기물 최종처리방법으로 생활폐물의 직접적인 매립은 감소하지만, 소각재등 새로운 성상의 폐기물들이 지속적으로 반입이 되고 있다. 하지만 시대에 따라

*정희원, 안양대학교 디지털멀티미디어 학과

*정희원, 안양대학교 디지털멀티미디어 학과

*정희원, 안양대학교 환경공학과

**정희원, 한북대학교 컴퓨터정보학과

접수일자 : 2012년 4월 10일, 수정완료 : 2012년 7월 31일

게재확정일자 : 2012년 8월 10일

Received : 10 April 2011 / Revised : 21 July 2012 /

Accepted : 10 August 2012

**Corresponding Author: scho@anyang.ac.kr

Dept. of Digital Media, Anyang University, Korea

변화되는 매립환경에 직접적으로 대응하지 못하고 단순 환경오염차원에서의 1차적인 관리가 현실이다. 향후 신규매립장 조성이 민원 등으로 매우 어렵기 때문에 사용 중인 매립지의 효율적인 운영과 국가차원에서의 관리가 필요한 실정이다^{[1][2]}.

본 연구를 통하여 매립지의 효율적인 운영과 불법적인 매립을 방지하고 나아가 매립지에서의 체계적인 온실가스(메탄, 이산화탄소 등)인벤토리구축을 위한 객관적인 database 구축에 근간으로 활용될 수 있다고 판단된다^[3].

폐기물 반입, 매립에 따른 매립형상관리를 실시간을 기반으로 시스템화하는 것은 매립상황인식 통합플랫폼의 3차원 매립형상 모델을 개발하는 것을 의미함. 즉 매립상황인식 통합플랫폼을 통해 ‘폐기물 매립 용량정보 신뢰성’, ‘실시간 환경정보 계측 및 사후관리’, ‘폐기물 반입·매립 업무를 위한 혁신기술 개발’, ‘국제적 위상과 수준에 적합한 환경정책 지원수단 제공’ 등 다양한 요구와 필요에 부응하기 위한 핵심 기술이 3차원 매립형상 정보 관련 기술이다. 본 연구는 대기 및 수질 등의 환경정보 측정 및 관리(TMS) 현황에 비해 상대적으로 체계화 되지 못한 폐기물 매립지의 형상 및 용량 변화관리를 위한 3차원 매립형상정보체계를 구현하는 것을 목표로 한다^[4].

본 연구에서 개발하고자 하는 3차원매립형상정보시스템은 다음과 같다.

- 매립지의 환경오염 정보와 더불어 매립형상변화 정보를 생산하고 관리하는 기술로써 본 연구 목표인 ‘매립상황인식 통합플랫폼’의 근간이 되는 기술이다
- ‘3D매립형상정보시스템’은 매립 전과 후의 매립형상변화를 관리하기 위한 고준위 카메라를 활용하여 영상정보를 취득하고, 3차원 형상의 시계열변화를 관리하고 분석하는 시스템으로 매립지의 용량변화 및 사용연한 분석 등에 활용된다
- ‘매립상황인식 통합플랫폼’에서 환경정보와 3D매립형상정보를 정합하여 3차원 매립형상과 환경정보의 발생현황과 변화 등을 표출하는 서비스를 제공한다.
- ‘3D매립형상정보시스템’은 ① 매립지 매립형상정보 계측(모니터링) 기능, ② 매립지 매립형상정보 분석(용량 변화 및 변위량 분석) 기능, ③ ‘매립 상황인식 통합플랫폼’ 연계 및 연동 정보 표출서비스 등으로 구성된다.

쓰레기 매립량을 측정하기 위한 스테레오(stereo) 카메라 시스템을 제작하여 사용하였으며 먼저 카메라 캘리

브레이션을 통해 왜곡된 측정값을 교정한 다음 측정하고자 하는 쓰레기 매립장의 쓰레기 표면점들의 클라우드(cloud)를 얻게 된다. 다음에 이들 점들에 대해 기준좌표로의 변환을 행하며 변환한 좌표상에서 제시된 방법에 따라 체적 계산을 행하게 된다

실제 체적을 계산하기 전에 수학적인 체적 모델을 만들어 제시된 알고리즘의 성능을 비교해본 결과 격자(mesh) 크기에 대해 제시된 알고리즘들이 비슷한 계산 성능을 보였으며 이는 제시된 방법의 타당성을 보여준다. 또한 가상의 박스 매립물에 대한 실제 실험으로도 제시된 체적계산 방법이 유효함을 보였다.

II. 개발 방법

개발을 위해 OpenCV라는 개방형 컴퓨터 비전 라이브러리를 이용하며 표면 재구축을 위해서 사용하였으며 Visual C++에서 OpenCV와 MS사의 MFC를 이용하여 전체적인 알고리즘을 작성하였다. 본 제품에서는 일반적으로 스테레오형 카메라를 구입 시 이미 캘리브레이션된 삼차원 좌표점 들의 데이터로 나오므로 스테레오 카메라 캘리브레이션이 필요없지만 고가이고 원거리 측정에 필요한 사양을 가지고 있지 않아서 스테레오 카메라를 직접 제작하여 사용하기로 한다.



그림 1. 스테레오 카메라 거치 및 통신도 설계
Fig. 1. The Installment of Stereo Camera and the Design of Communication Diagram

두 대의 카메라를 이용한 스테레오 카메라 구성으로 두 대의 카메라를 폴(pole)에 고정하여 좌우 스테레오 영상을 취득하는 방식으로 일반적으로 알려진 방법이다. 그림 2는 안성시 매립장에 설치될 스테레오 카메라 시스템과 통신 다이어그램이다.

2.2 알고리즘 전체 개요도

제시된 알고리즘의 전체 흐름도는 그림 2와 같다.

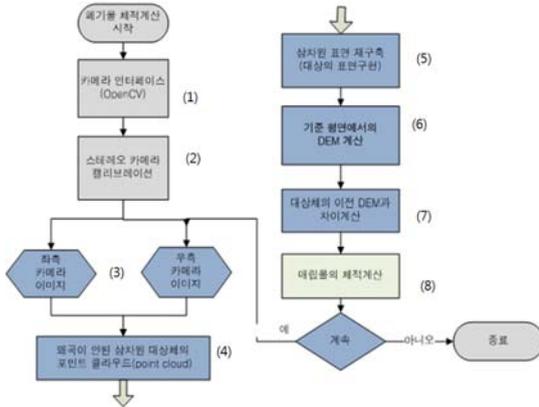


그림 2. 폐기물 매립량 계산 알고리즘의 일반적인 절차도
Fig. 2. Flowchart of Computation for the Filling-Up of Rubbish.

그림 4는 개발된 시스템의 일부인 스테레오 카메라 사용자 인터페이스를 보여준다.

그림 3의 폐기물 매립량 계산을 위한 일반적인 절차도에서 스테레오 카메라 캘리브레이션을 처음 1회 실행하고 이후에는 스테레오 영상을 받아 카메라 좌표계를 기준으로 대상체 표면에서 획득한 포인트 클라우드(point cloud)의 좌표값들을 얻게된다. 포인트 클라우드에서 삼차원 매싱(meshing) 모델을 만든다.

다음에 제시된 체적 계산 알고리즘을 통하여 체적을 계산하게 된다. 체적은 이전체적의 절대값과 현재 측정된 체적의 절대값을 뺀 체적의 증분값을 알 수 있으며 절대 기준면이 주어진 경우나 이전에 측정된 데이터에서 매립된 쓰레기의 절대 체적값을 아는 경우 보정을 통해 현 시점에서 측정된 매립된 쓰레기의 절대 체적도 구할 수 있다.

III. 제시된 체적 계산 알고리즘

[알고리즘 절차]^[15]

단계1: 카메라 인터페이스 : 카메라 제공업체에서 주는 디바이스 드라이브 소프트웨어 번들을 사용한다. USB 시리얼 인터페이스나 네트워크 디바이스 드라이버가 사용된다

단계2: 스테레오 캘리브레이션 : 카메라를 모델링하고

파라메타를 보정하며 왜곡제거를 행하고 전체 보정을 한다. 투영인 경우 어퍼인 변환과 투시 변환 및 3D 포즈를 측정하고 스테레오 영상을 획득한다

단계3: 스테레오 이미지 입력: 캘리브레이션으로 교정된 삼차원 표면의 점들이 이미지로 평면에 나타나게 되면 캡처 명령으로 이미지를 획득하여 저장하게 된다

단계4: 이미지 머징한 삼차원 포인트 클라우드: 획득한 삼차원 표면 클라우드의 좌우 교정 이미지에서 대응점(correspondence) 들을 구한다

단계5: 삼차원 체적을 구하기 위한 매싱(meshing)으로 균일 사각형 매시나 불균일 삼각형 매시를 이용한다.

(a) 계산 방법은 적도면이나 그 하단을 평면으로 기준 평면으로 설정한다.

(b) 다음에 선택한 격자들을 기준면에 표시한다. 이를 위해 각 격자들의 중심에 대해 평균 높이를 계산한다. 불균일한 삼각형(TIN, Triangular Irregular Network)수가 많은 경우에 기준면의 면적에 대해 평균높이를 곱해 전체 체적을 계산한다.

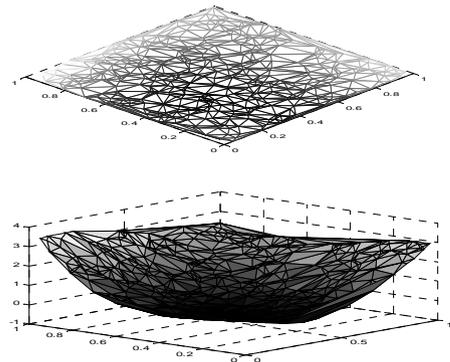


그림 3. 삼각형 격자와 목적 대상 함수 예
Fig. 3. The Triangular Mesh and the Objective Function Example

IV. 모의 실험 및 검토

지표형상과 격자 모양에 따른 체적 계산 알고리즘을 이용해 성능비교를 행한 결과는 다음과 같다

A : 균일 삼각 함수 매시.

B : 불균일 삼각 함수 매시

• 완만한 경사면: $F_1 = X + Y$

• 오목한 경사면: $F_2 = X.^2 + Y.^2$

• 굴곡이 심한 경사면:

$$F_3 = 10 + 1.2^{(-1.5 * \sqrt{X.^2 + Y.^2} / 5)}$$

$$.* \cos(0.5 * Y). * \sin(X)$$

표 1. 격자수가 적고 격자 크기가 클 때
Table 1. In Case That the Small Number of Meshes and Small Mesh Size

방법\표면함수	$F_1(10^4)$	$F_2(10^5)$	$F_3(10^3)$
A	2.7000	5.4900	9.0007
B	2.7000	5.4900	9.0007
정답	2.7000e+04	Unknown	9.0000e+03

가로길이 = 30m, 세로길이 30m, 가로방향 길이증분= 1m, 세로방향 증분길이= 1m, 가로격자수 = 30, 세로 격자수 = 30, 불규칙 삼각격자수=900

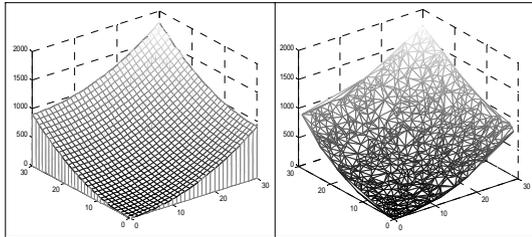


그림 4. 오목한 경사면에 대한 경우 (F_2): 그림: 좌측(A), 우측(B)

Fig. 4. The Example of the Surface Shape in the case of the Concave Shape (F_2)

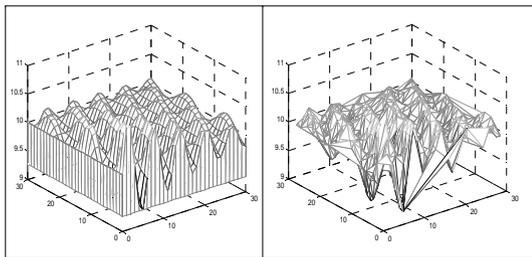


그림 5. 굴곡이 심한 경사면에 대한 경우(F_3): 그림: 좌측(A), 우측(B)

Fig. 5. The Example of the Surface Shape in the case of the Erratic Surface Shape (F_3)

표 2. 격자수가 많고 격자 크기가 작을 때

Table 2. In Case That Small Number of Meshes and Small Mesh Size

방법 \ 표면함수	$F_1(10^4)$	$F_2(10^5)$	$F_3(10^3)$
A	2.7154	5.5125	9.0002
B	2.7000	5.4225	9.0005
정답	2.7000	unknown	9.0000

가로길이 = 30m, 세로길이 30m, 가로방향 길이증분= 0.2m, 세로방향 증분길이= 0.3m, 가로격자수 = 100, 세로 격자수 = 150, 불규칙 삼각격자수=1500

V. 실험 및 검토

개발을 위해 OpenCV^[6]라는 개방형 컴퓨터 비전 라이브러리와 OpenGL이라는 컴퓨터 그래픽 API를 이용하며 표면 재구축 및 체적 계산을 위해서 사용하였으며 Visual C++에서 MFC와 OpenCV를 이용하여 전체적인 알고리즘을 작성하였으며 스테레오 캘리브레이션 알고리즘을 통해 캘리브레이션 파라미터를 추출할 수 있었다^[8].

스테레오 카메라를 고정해 체적이 알려진 2종의 직육면체 상자에 대한 스테레오 사진을 찍어 포인트 클라우드를 구한 후 불균일 삼각 메시 모델을 하였다. 먼저 아래 박스가 있는 없는 경우와 있는 경우를 비교하여 1개의 박스에 대한 체적을 사진 측량하여 제시한 체적 계산 알고리즘으로 계산해보았으며 자로 측정한 결과와 비교해보았다. 다음에 작은 박스를 처음 박스위에 놓고 사진 측량을 하여 포인트 클라우드를 구한 후 불균일 삼각 메시를 하여 체적 계산 알고리즘을 행하였다.

표 3은 대상 물체 들에 대해 길이 자를 이용한 정확한 체적 측정 및 사진 측량으로 각각의 포인트 클라우드 획득 후 불균일 삼각 메시 기법에 의한 체적계산 알고리즘을 적용했을 때의 값을 보여준다.

결과적으로 큰 상자인 경우의 체적오차는 3.9%이고 작은 상자인 경우는 3.86%로 나타났으면 이는 공학적으로 허용 가능한 측량 범위(약5%)이내에 들어가는 것으로 제시된 스테레오 사진 측량에 의한 체적 계산이 타당함을 의미한다.

그림 6은 사진 측량 대상인 두 개의 박스를 쌓아올린 것이며 그림 7은 두 개의 쌓인 박스에서 이미지 활용 후

표 3. 두 개의 상자에 대한 두 개의 방법에 의한 치수 비교

Table 3. The Measurement Comparison of Two Boxes with Two Methods

	큰 상자			작은 상자		
	잔길이	사진측량	오차%	잔길이	사진측량	오차%
가로	505 mm	501mm	0.8	265 mm	260mm	1.19
세로	404 mm	399mm	1.2	245 mm	232mm	1.22
높이	175 mm	172mm	1.7	115 mm	119mm	3.48
체적	35,791,875 mm ³	34,382,628 mm ³	3.9%	7,466,375 mm ³	7,178,080 mm ³	3.86%

포인트 클라우드를 구해 불균일 삼각 매시를 적용한 것이다. 그림 6에서 상자의 가로와 세로의 높이의 길이를자로 채어 표 3에 표시하였으며 그림 6의 사진측량을 위한 그림 7의 포인트 클라우드에서 높이는 상자의 상단의 높이에서 바닥면의 높이를 뺀 상대 길이로 설정하고 체적 계산 알고리즘을 각각의 상자에 대해 수행하였다.



그림 6. 두 개의 직육면체 박스 사진
Fig. 6. Two Rectangular Boxes for Experiment

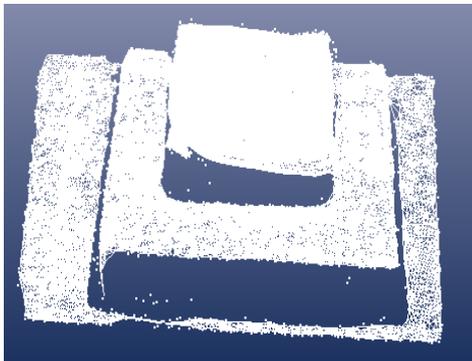


그림 7. 두 개의 박스에 대한 불균일 삼각 매시 모델
Fig. 7. The Non-Uniform Triangular Mesh Model for Two Boxes

32분 논문과 기존 연구를 비교해보면 다음과 같다. 기존에 삼차원 표면 재구축에 대한 연구들은 많으나 삼차원 대상체에 대한 멀티 캘리브레이션 및 이미지 획득에 그치고 체적을 계산하는 방법을 제시한 연구들은 거의 없디거 볼 수 있다.^{[9]-[13]}

또한 공장자동화용 비전 검사는 이차원적인 비전에 대한 것으로 삼차원적인 대상에 대한 측정을 하지 않으며, GIS 분야에서는 인공위성에서 본 지상에 수직한 지상형상에 대한 측량을 하는 것으로 지상에서 대상체에 대해 경사지게 바라보는 쓰레기 매립장에서와 측정 환경이 다르다고 할 수 있다^{[14]-[18]}.

VI. 결론

본 연구에서는 쓰레기 매립장 환경 개선을 위해 매립된 쓰레기의 체적을 스테레오 비전 카메라를 이용하여 계산하고 매립량을 계산하기 위한 알고리즘을 개발 하였다. 스테레오(stereo) 카메라를 이용하여 왜곡 파라메타 교정을 하고 교정된 이미지를 통해 쓰레기 매립지의 대상 표면 점들의 클라우드를 얻을 수 있었다.

포인트 클라우드를 체적 알고리즘의 입력으로 하여 제시된 방법의 체적계산 알고리즘을 통해 대상체의 체적을 계산하게 된다. 그리고 이 부피 값과 비교하고자 하는 지난 시간의 체적 값(예, 전일 체적 등)을 감산하여 매립된 체적을 계산한다. 이를 통해 주간 매립 체적, 월간 매립 체적 및 연간 매립 체적을 계산하여 쓰레기 매립 제어 를 위한 정량적인 통계값을 얻을 수 있게 된다.

참 고 문 헌

- [1] Statistics of landfill facilities, Ministry of Environment, 2010
- [2] Research and field measurement of greenhouse gas emission from landfills, Korea Environment Corporation, 2008
- [3] Review of domestic applicability and case studies of domestic and foreign for verification National Greenhouse Gas Emission Factors, 2011
- [4] Waste landfill technologies-based research, SUDOKWON Landfill Site Management Corporation, 2005
- [5] A study on roadmap construction of maintenance project for sustainable landfill, Korea Environment Corporation (Korea Environment & Resources Corporation), 2009
- [6] "Learninig OpenCV : Computer Vision with OPenCV Library", Gary Bradski and Adrian Kaehler, O'Reilly
- [7] "Matlab, An Indtroduction with Applications", Amos Gilat, Willey
- [8] Young-Dae Lee etc.al, "Volume Calculation for Filling Up of Rubbish Using Stereo Camera and Uniform Mesh", J. of Institute of Webcasting, Internet and Communication, Vol12. No.3, June 2012, to be appeared
- [9] <http://www.3dsystems.co.kr>
- [10] <http://da.vidr.cc/projects/pixelstruct/>
- [11] <http://www.cgal.org>
- [12] <http://www.sorceforge.net>
- [13] Jin-Ho Bae etc., "Development of Automatic Inspection System for Lead Screw of Computer", J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, ISSN : 1975-4701(Print), Vol11., No.11, pp.4115-4120, 2010
- [14] Seong Hoon Kim etc, "A Research on the Development of a GIS-based Real-time Urban Water Management System", J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, ISSN : 1975-4701(Print), Vol12, No.11, pp.5290-5299, 2011
- [15] Hyo-Jun Kim, "Road measuring system using surface profile sensing algorithm", J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, ISSN : 1975-4701(Print), Vol.12., No.3, pp.1098-1104, 2011
- [16] Chang-Su Won etc., "A Differential Capacitance Deviatio-to-Time Converter for Triaxial Position Sensors", J. of Korean Intitute of Information Technology", Vol.7, No2., 2009
- [17] Dong-Wha Kim. "Advanced Learning of Fuzzy Neural Network Using Bacteria Foraging Optimization", J. of Korean Institute of Information Technology, Vol4. No.1, pp.35-pp.48, 2006
- [18] Hyun-Sang Par, "Memory-efficient Data Arrangement Hardware for Continuous Output of Resized Image Data", Vol.9, No.7,pp.1-pp.6 2009
- [19] J.Y. Kim, C.G. Lee, "A study on the estimation of the downstream arrival time with the upstream flow by utilizing u-IT equipments", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol.12, no.8, pp.3594-3602, Dec.,2011
- [20] J.S.Kong, "Study on the Aid Control Algorithm for the Power-Assisted Smart Wheelchair", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol.12, no.8, pp.3360-3365, Dec.,2011
- [21] S. J. Kang, "A Study on the Development of Qualification for Semiconductor Machine Maintenance", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol.13, no.6 ,pp.2472-2478, 2012

※ 본 논문은 환경부 환경산업기술원의 차세대 티 사업 연구비 지원-매립지 실시간 계측 및 계량분석-에 의해 수행되었음

저자 소개

이 영 대(중신회원)



- 1985.2 서울대학교 (공학사)
- 1987.2 서울대학교 대학원 (공학석사)
- 1998.2 서울대학교 대학원 (공학박사)
- 1999.4~2009.3 세명대학교 정보통신학과 교수
- 2012~현재 안양대학교 교수

조 성 윤(정회원)



- 1987.2 한양대학교 (공학사)
- 1989.2 한양대학교 (공학석사)
- 1989.2 한양대학교 (공학석사)
- 1995.2 Univ. of Wales Cardiff(공학박사)
- 2001~현재 안양대학교 교수

이 동 규(정회원)



- 1991년 한양대학교 전자공학과(공학사)
- 1993년 한양대학교 전자공학과(공학석사)
- 2003년 한양대학교 전자공학과(공학박사)
- 2004년~현재 한북대학교 컴퓨터정보학과 조교수

학과 조교수

<관심분야 : 멀티미디어, 영상처리, ITS>

김 경 (정회원)



- 1997.2 서울과학기술대학교(공학사)
- 1999.2 건국대학교(공학석사)
- 2011.2 광운대학교(공학박사)
- 2011.9~현재 안양대학교 교수