

논문 2016-53-9-17

CT Bolus Tracking System을 이용한 조영제의 혈관외유출 검출

(Detection for Contrast Media Extravasation using Bolus Tracking Systems of CT)

권 대 철*, 이 용 구**

(Dae-Cheol Kweon and Yong-Gu Lee[Ⓢ])

요 약

컴퓨터단층촬영(CT) 검사의 정맥주사(IV)시 조영제의 혈관외유출은 조직손상을 유발할 수 있다. Bolus tracking 시스템을 이용하여 조영제를 주입과정에서 발생하는 혈관외유출을 검출한다. 또한 조직손상을 방지하기 위하여 MPR 및 VR 영상을 이용하여 혈관외유출을 검출하였다. 조영제의 혈관외유출을 검출하기 위하여 16MDCT, 64MDCT를 사용하였다. 혈관외유출에 대한 3차원영상은 환자치료에 중요한 치료정보를 제공할 수 있다. 또한 조영제와 조직 간의 선예도를 개선하기 위해서 edge enhancement 영상처리기법을 적용하였고, 선예도 및 대조도가 개선되었다.

Abstract

When injecting intravenously of CT inspection, the effusion of the contrast meium can induce the tissue damage with the blood vessel outside. We detect extravasation which is generated in the course where we inject the contrast medium into the blood vessel. And we use the bolus tracking system for the detection of that. By using MPR and VR images, moreover we detected the extravasation in order to prevent the tissue damage. In order to detect the effusion of the contrast medium, we used 16-MDCT and 64-MDCT. Three dimensional images about the outflow of the blood vessel can provide the treatment information which is important in the patient treatment. Moreover we applied the image processing technique in order to improve sharpness between contrast media and organization. And sharpness and contrast was improved.

Keywords : 3D imaging, bolus tracking system, contrast media, extravasation, computed tomography

I. 서 론

전산화단층촬영(CT) 검사에서 조영제의 주입은 조영제 자동주입기를 이용하여 IV(intravenous) 카테터에 조영제를 주입한다. 이러한 조영제 주입은 조영제 증강의 최적화 시간을 구현하기 위해 bolus tracking system을 이용하고 있다^[1].

그러나 CT 검사의 조영제 주입과정에서 조영제가 혈관 밖으로 새어나가는 혈관외유출(extravasation)의 부작용이 발생하기도 한다^[2-4]. 조영제의 혈관외유출은 조영제의 주입 속도, 용량 및 종류에 의해 영향을 받는다. 또한 혈관외유출은 연부조직의 구획 내 팽창과 화학적 자극으로 피부에 독성반응, 물집, 피부 괴사, 통증발현 및 운동제한과 같은 직접적인 증상을 동반하는 심각한 부작용을 초래할 수 있다. 이러한 손상은 감각이상, 압통, 수포, 궤양, 피부괴사 및 구획증후군으로 진전되기도 한다.

특히, CT검사를 위한 조영제 주입과정에서 정맥내 카테터 주변으로 조영제가 유출되는 혈관외유출이 발생된다^[5-6]. 혈관외유출은 손등 및 팔꿈치의 정맥에 카테

* 정희원, 신한대학교 방사선학과 (Department of Radiological Science, Shinhan University)

** 정희원, 한림성심대학교 방사선과 (Department of Radiological Science, Hallym Polytechnic University)

Ⓢ Corresponding Author (E-mail : yglee@hsc.ac.kr)

Received ; July 29, 2016

Revised ; August 12, 2016

Accepted ; August 29, 2016

터를 이용하여 조영제 자동주입기를 이용하여 주입하는 과정에서 빈번히 발생되고 있으며, 이것을 검출하기 위해서 자동검출시스템을 사용하기도 한다^[7-8].

조영제의 혈관외유출로 심한 피부괴양이 발생될 수 있으며^[9], 중증의 혈관외유출에 의한 조직 간의 압력 증가로 인하여 구획증후군이 발생하기도 한다.

또한 손부위에 발생하여 근육기능 장애가 발생되기도 하고^[10], 팔 부위에 발생되었을 때는 구획증후군이 발생되기도 한다^[11-12].

CT 영상에서 3D 영상기법을 사용하면 혈관정보 및 해부학적인 정보의 확인이 용이하다^[13-16]. 특히, MPR, MIP 및 VR 영상은 혈관외유출 범위 및 상태에 대한 정보를 제공하는 기능을 갖는다. 또한 혈관외유출이 발생하는 조영제의 위치확인을 위해서 조영제유출부위와 정상조직간 경계영역의 밝기차이를 이용한 영상화질 향상기법이 필요하다^[17].

이러한 조영제의 혈관외유출은 조기발견과 함께 합병증 예방을 위한 노력이 동반되어야 하고, 후유증을 미연에 방지하고, 쉬운 진단 및 경과관찰 방법이 필요하다. 또한 보존적 관리 및 치료계획을 위해 혈관외유출의 범위 및 위치를 파악하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 혈관외유출이 발생할 경우 치료계획에 유용하게 이용될 수 있도록 3D 영상인 MIP 및 VR 영상을 사용하여 혈관외유출을 조기에 검출한다. 또한 혈관외유출에 대한 증상 및 부작용을 미리 방지할 수 있도록 혈관외유출의 범위 및 위치를 파악한다. 혈관외로 유출되는 조영제와 조직과의 선예도를 개선하기 위해서 edge enhancement 영상처리기법을 적용하여 적용 전 후 영상에 대한 선예도 및 대조도를 개선한다.

II. Bolus Tracking System and 3D Imaging

1. Bolus Tracking System

Bolus tracking system은 실시간으로 조영증강의 정도를 최적화하기 위한 기법으로 혈관의 내부에 관심영역(ROI)을 설정하여 조영제 주입과 함께 모니터링을 실시하고, 사전에 설정된 문턱에 도달하였을 때 스캔하는 시스템이다. 이때 사용되는 문턱 값은 100에서 200 HU(hounsfield unit) 정도로 설정한다. 트리거 후 5초 또는 10초로 스캔지연을 설정하여 동맥기 및 정맥기 영상이 연속적으로 획득한다. 또한 정맥기 및 지연기영상은 조영제 주입 후에 70, 150초 정도에서 스캔하여 영상을 획득한다.

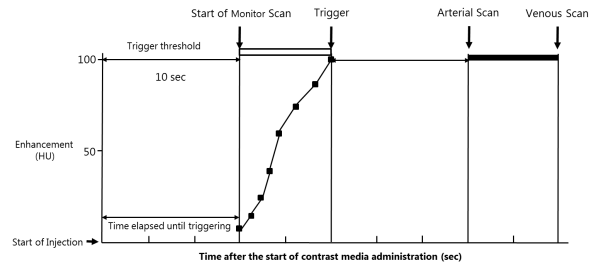


그림 1. Bolus tracking system
Fig. 1. Bolus tracking system.

2. 볼륨렌더링

CT는 X선 흡수계수의 배열로 구성되어, 각각의 평행한 평면영상의 입체영상을 생성한다. 볼륨 렌더링의 주요한 응용 분야인 볼륨데이터는 CT, PET에서 제공하는 영상이다. 볼륨렌더링은 인체구조의 내부를 가시화할 수 있다. 3D 데이터의 시각화기법으로 볼륨렌더링 색에 대한 반투명 볼륨의 2D 예측을 계산하여 3차원 공간의 샘플링기능을 시각화한다. 그림 2와 같이 볼륨 렌더링은 음영과 불투명도 결정으로 구분한다. 불투명도는 3D 데이터에서 묘출하는 데이터에만 주어지고 복셀의 선택을 결정하고 0에서 1 사이에 실수로 할당된다. 음영은 데이터에 컬러를 할당하여 입체적으로 묘사된다^[18-19].

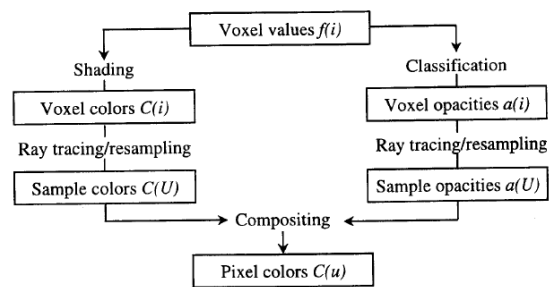


그림 2. 볼륨렌더링 알고리즘
Fig. 2. Overview of volume rendering algorithm.

3. MIP(Maximum Intensity Projection)

MIP는 매우 강한 구조의 검출을 가능하게 하는 데이터 시각화방법이다. 알고리즘은 단일 2차원 영상을 생성하는 관심체적에 모든 데이터를 사용하고, 각각의 XY는 Z 축을 따라 최고 HU 화소 값 좌표에 대해서 표시된다. 표시된 단일 2차원 이미지에서 독립적으로 체적 내의 고밀도 구조를 발견할 수 있다.

MIP는 시각화 투영평면의 평면에 평행한 면에서의 광선추적방법에 따라 최대강도의 프로젝트 3D 복셀 데

이터 볼륨시각화 방법이다. 이 방식은 계산적 빠르지만 2D 결과는 원래 데이터의 깊이에 대한 감각을 제공하지 않는다. 3D 영상의 질을 향상시키기 위해서 여러 MIP 프레임의 애니메이션에 대해 렌더링 되는 시점은 회전 환상을 생성한 프레임에서 다음 프레임으로 변화시키고 물체의 구성요소의 상대위치를 3D로 찾는데 도움을 준다.

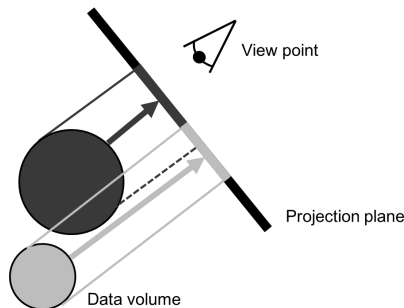


그림 3. 최대투사강도
Fig. 3. Schematic overview of MIP.

MIP 영상이 구성되는 방법은 투영에 포함된 정보와 과를 가지며, 구조적인 방법은 2D 투영의 임상정보가 3D 데이터 량에 포함되어 선택된다.

III. 대상 및 방법

1. 대상

혈관외유출 영상은 조영제의 혈관외유출 환자를 대상으로 진행되었고, 임상연구윤리위원회 (CNMC IRB 2011-020)에 의해서 승인된 환자의 동의를 얻었다.

2. CT 스캔과 조영제 주입

환자의 혈관외유출 부위의 스캔 CT 영상은 16-MDCT와 조영제 자동주입기, 64-MDCT와 조영제 자동주입기를 각각 사용하여 bolus tracking system을 사용하였다. 또한 조영제를 주입하고 조영제가 설정된 문턱값에 도달되면 스캔하였다. 스캔 중에 조영제의 혈관외유출이 발생한 환자를 대상으로 영상을 획득하였다.

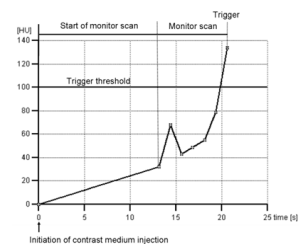
3. 3D 영상

혈관의 유출환자를 대상으로 발생부위를 스캔하여 MPR, MIP 및 볼륨렌더링 영상을 PC 기반의 워크스테이션에 데이터를 송부하여 소프트웨어를 사용하여 3D 영상을 묘출하였다.

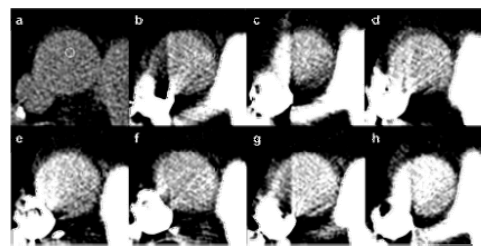
IV. 실험 결과

1. 16-MDCT 스캔과 3 차원 영상

혈관외유출이 발생한 환자에 대하여 Siemens사의 16-MDCT의 CARE Bolus software를 사용하고, 관전압 140 kV, effective mAs 250, pitch 1.0, collimation 0.75 mm, thickness를 1.0 mm로 각각 설정하여 스캔하였다. CARE Bolus는 저선량 모니터링으로 조영제 주입 후 15초 후에 2초 간격으로 CT 프로토콜을 종료하도록 하였다. 그림 4의 (a)는 CARE Bolus 시스템을 사용하여 얻은 CT 영상이다. 환자의 antecubital fossa 정맥에 조영제 주입과정에서 혈관외유출이 발생한 시간에 따른 HU 곡선이다. CARE-bolus의 조영제 triggering 후에 a, b, c, d, e, f, g 및 h 영상을 획득하였다. 각각의 영상은 배대동맥에 관심영역을 설정하였고, 문턱값은 100 HU로 설정하였다. 조영제가 주입되면서 a, b, c, d, e, f, g 및 h 영상에서 HU 값은 각각 0, 32, 68, 43, 49, 55, 79, 134로 나타났다.



(a)



(b)

그림 4. (a) 시간에 따른 HU 곡선, (b) 복부대동맥의 ROI 설정

Fig. 4. (a) Time density curve, (b) ROI of abdominal aorta.

혈관외유출 환자의 영상에서 설정된 파라미터는 collimation 0.75 mm, slice thickness 0.5 mm, 관전압 120 kVp, effective mAs 52-165, 회전시간 0.5 sec를 각각 사용하였고, Siemens Medical Solutions인 선량변동 시스템(Care Dose 4D)을 사용하였다. 그림 5의 (a)는

antecubital fossa 정맥에 조영제를 주입하는 과정에서 발생한 혈관외유출 부위를 스캔한 영상이다. 그림 5의 (b)는 MIP 영상이고, (c)는 VR 영상이다. 혈관외유출 영상, MIP 영상 및 VR 영상에서 혈관외유출과 정맥내 카테터가 잘 묘사되고 있음을 알 수 있다.

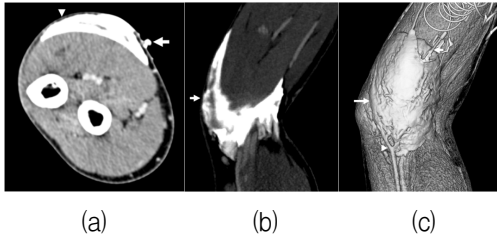


그림 5. (a) 혈관외유출(화살머리)과 정맥내 카테터(화살)의 영상, (b) 최대투사강도 영상, (c) VR 영상
Fig. 5. (a) Extravasation of axial CT image, (b) MIP image, (c) volume rendering image.

2. 64-다중 검출기 CT 스캔과 3 차원 영상

혈관의 유출영상을 획득하기 위해서 Philips사 64-MDCT를 사용하고, 관전압 120 kVp, 관전류량 150 mAs, collimation 2.5 mm, pitch 1.25, reconstruction slice thickness 2.5 mm를 사용하여 스캔하였다. 그림 6의 (a) 영상은 infrapopliteal에서 혈관외유출이 발생하는 것을 나타낸다. 그림 6의 (b)의 3D영상은 MIP sagittal 영상이며, (c)는 coronal 영상이다. 또한 그림 6의 (d)의 볼륨렌더링 영상은 볼투명도를 100%, 최적농도범위를 48-802 HU로 하였다.

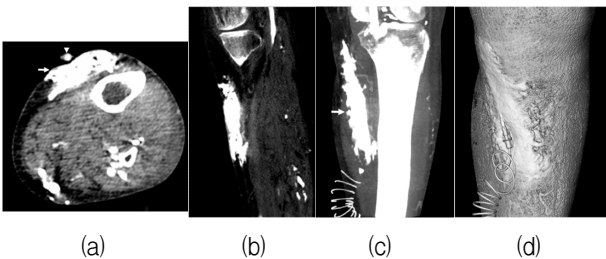


그림 6. (a) 하지 infrapopliteal 정맥의 혈관외유출(화살)과 정맥내 카테터(화살머리), (b) 최대투사강도의 sagittal 영상, (c) 최대투사강도의 coronal 영상, (d) VR 영상
Fig. 6. (a) Extravasation of infrapopliteal vein, (b) sagittal image for MIP, (c) volume rendering image.

3. Edge enhancement 영상

혈관외로 유출되는 조영제와 조직 간의 선예도 및 대조도를 개선하기 위해서 edge enhancement 영상처리 기법을 적용하였고, 적용 전 후 영상에 대한 대조도를 검

토하였다. 그림 7과 그림 8은 각각 그림 5와 그림 6의 혈관외유출영상에 edge enhancement 영상처리 기법의 적용 전과 적용 후의 영상이다. 그림 7 (a)와 그림 8 (a)의 원영상에 81×81 저주파마스크를 사용하여 저주파 필터링영상을 얻고, 원영상에서 저주파 필터링영상을 감산 처리하여 영상을 생성한 후 원영상에 가산하여 그림 7의 (b)와 그림 8 (b) 영상을 얻었다. 표 1과 표 2는 각각 그림 7과 그림 8의 (a)와 (b) 영상 각각에 대하여 정상조직과 조영제유출부위에 대하여 동일한 영상좌표상에서 휘도값을 나타낸다.

그림 7과 그림 8의 영상크기는 각각 144×144 mm, 294×294 mm의 크기이며, 영상처리과정에서 픽셀값에 포화가 발생되지 않도록 각 픽셀 당 32비트의 화소값을 갖도록 변환하였다.

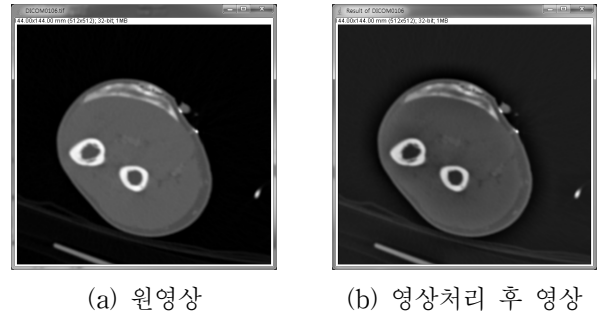


그림 7. 그림 5의 영상에 대한 영상처리 전 후
Fig. 7. Before and after image processing for image of Fig. 5.

표 1. 조직과 조영제유출부위의 휘도 값
Table1. Brightness value of normal fissure and Extravasation.

	영상좌표		휘도값	부위
	x[mm]	y[mm]		
원영상	90.56	52.03	-119	조직
	92.81	51.75	1783	조영제유출
영상처리 후 영상	90.56	52.03	-27.55	조직
	92.81	51.75	3879	조영제유출

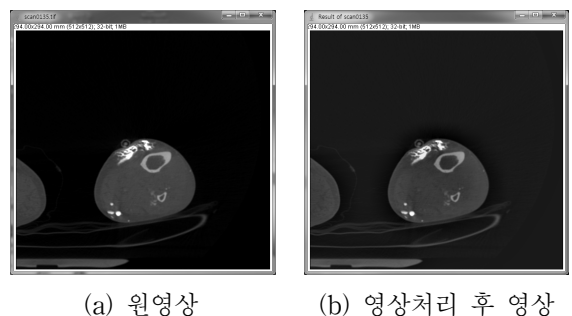


그림 8. 그림 6의 영상에 대한 영상처리 전 후
Fig. 8. Before and after image processing for image of Fig. 6.

표 2. 조직과 조영제 유출부위의 휘도 값
Table2. Brightness value of normal fissure and Extravasation.

	영상좌표		휘도값	부위
	x[mm]	y[mm]		
원영상	128.63	142.98	264.0	조직
	127.48	138.96	426.0	조영제유출
영상처리 후 영상	128.63	142.98	541.9	조직
	127.48	138.96	1010.6	조영제유출

표 1과 2에서 영상처리 전의 원영상은 조직부위와 조영제유출부위의 휘도 차이가 각각 1902, 162로 측정되었고, 영상처리 후 영상은 조직부위와 조영제유출부위의 휘도 차이가 각각 3906.6, 468.7로 측정되었다. 따라서 영상처리 후의 영상은 영상처리 전 영상보다 밝기 차이가 더 커져서 영상에서 조영제 유출부위가 쉽게 검출될 수 있도록 대조도가 개선되었음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서 조영제 자동주입기를 사용하는 CT검사에 MIP 및 볼륨 렌더링기법을 적용하여 조영제의 혈관외유출을 검사하고, 혈관외유출이 발생하는 경우 치료를 위한 혈관외유출의 위치 및 범위 등을 정확하게 확인하였다.

MIP는 모든 정보를 검토하는 데 유용하였고, 2차원 영상에서 사용자에 의해 선택된 설정 데이터에 따른 방향의 투영 라인을 따라 높은 복셀 값의 화소 값으로 표현되었다. 볼륨렌더링 기법은 관찰자의 관찰라인을 따라 각 복셀의 기여도를 추가하고, 각 픽셀의 값을 결정하기 위해 반복적으로 수행되었다.

또한 혈관외로 유출되는 조영제와 조직과의 대조도를 개선하기 위해서 edge enhancement 영상처리기법을 적용하여 적용 전 후 영상에 대한 대조도를 개선하였다.

제안된 기법은 혈관외유출이 발생하는 경우에 치료 및 중증의 부작용에 대한 수술 계획에 적용하기 위한 3D 영상의 정보를 제공할 수 있다. 또한 MDCT 3D 영상은 조영제의 혈관외유출의 영향과 범위를 결정하고, 조영제 주입의 부작용이 발생한 환자의 치료 및 관리에 적용될 수 있다. 따라서 제안된 방식은 조영제 사용 CT검사의 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] Kirchner J, Kickuth R, Laufer U, Noack M and Liermann D. "Optimized enhancement in helical CT: experiences with a real-time bolus tracking system in 628 patients," Clin Radiol. Vol. 55, no. 5, pp. 368-373, 2000.
- [2] Cohan RH, Ellis JH and Garner WL., "Extravasation of radiographic contrast material: recognition, prevention, and treatment. Radiology," Vol. 200, no. 3, pp. 593-604, 1996.
- [3] Huh SW, Ryu JH, Song SW and Rhee SK. "Compartment syndrome of forearm caused by extravasation of CT contrast media," J Korean Soc Surg Hand, Vol. 17, pp. 43-46, 2012.
- [4] Kweon DC, Jang KJ, Yoo BG and Lee JS, "Extravasation injury of contrast media in the neck and thorax during MDCT scanning with 3D image reformation findings," J Radiol Sci Technol, Vol. 30, pp. 281-287, 2007.
- [5] Shin DJ, Byun YS and Choi S. "Extravasation injury of forearm by computed tomography contrast medium," J Korean Ortho Assoc, Vol. 48, pp. 27-32, 2013.
- [6] Spigos DG, Thane TT and Capek V, "Skin necrosis following extravasation during peripheral phlebography," Radiology, Vol. 123, no. 3, pp. 605-606, 1977.
- [7] Federle MP, Chang PJ, Confer S and Ozgun B, "Frequency and effects of extravasation of ionic and nonionic CT contrast media during rapid bolus injection," Radiology, Vol. 206, no. 3, pp. 637-640, 1998.
- [8] Birnbaum BA, Nelson RC, Chezmar JL and Glick SN, "Extravasation detection accessory: clinical evaluation in 500 patients," Radiology, Vol. 212, no. 2, pp. 431-438, 1999.
- [9] Elam EA, Dorr RT, Lagel KE and Pond GD, "Cutaneous ulceration due to contrast extravasation: Experimental assessment of injury and potential antidotes," Invest Radiol., Vol. 26, no. 1, pp. 13-16, 1991.
- [10] Stein DA, Lee S and Raskin KB, "Compartment syndrome of the hand caused by computed tomography contrast infiltration: Orthopedics," Vol. 26, no. 3, pp. 333-334, 2003.
- [11] Benson LS, Sathy MJ and Port RB, "Forearm compartment syndrome due to automated injection of computed tomography contrast material," J Orthop Trauma, Vol. 10, no. 6, pp. 433-436, 1996.

- [12] Wang CL, Cohan RH, Ellis JH, Adusumilli S and Dunnick NR, "Frequency, management, and outcome of extravasation of nonionic iodinated contrast medium in 69,657 intravenous injections," *Radiology*, Vol. 243, no. 1, pp. 80-87, 2007.
- [13] Addis KA, Hopper KD, Iyriboz TA, Liu Y, Wise SW, Kasales CJ, et al., "CT angiography: in vitro comparison of five reconstruction methods," *AJR Am J Roentgenol*, Vol. 177, no. 5, pp. 1171-1176, 2001.
- [14] Li AE and Fishman EK, "Evaluation of complications after sternotomy using single and multidetector CT with three-dimensional volume rendering," *AJR Am J Roentgenol*, Vol. 181, no. 4, pp. 1065-1070, 2003.
- [15] Loth TS and Jones DE, "Extravasations of radiographic contrast material in the upper extremity," *J Hand Surg Am*, Vol. 13, no. 3, pp. 395-398, 1988.
- [16] Byunghwan Jeon, Yeonggul Jang, Dongjin Han, Hackjoon Shim, Hyungbok Park, and Hyukjae Chang, "Vessel Tracking Algorithm using Multiple Local Smooth Paths," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 53, no. 6, pp. 137-144, June 2016.
- [17] Jaemin Hwang and Ohseol Kwon, "Image Enhancement using Intensity Deviation of Boundary Regions," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 51, no. 12, pp. 140-149, December 2014.
- [18] Marc Levoy, "Display of surfaces from volume data," *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 29-37, May 1988.
- [19] Kwon SM, "A block-based volume rendering scheme for spine biopsy simulator," Thesis, KAIST, 1997.

 저 자 소 개



권 대 철(정회원)

1991년 경기대학교 산업공학과 학사 졸업.

2000년 동국대학교 산업시스템공학과 석사 졸업.

2005년 아주대학교 의용공학과 박사 졸업.

1987년~2008년 서울대학교병원 영상의학과
2008년~현재 신한대학교 방사선학과 부교수
<주관심분야: 컴퓨터단층영상학, 방사선계측학, 의용공학>



이 용 구(정회원)

1987년 동국대학교 전기공학과 학사 졸업.

1993년 동국대학교 전기공학과 석사 졸업.

1997년 동국대학교 전자공학과 박사 졸업.

2016년 연세대학교 방사선학과 학사 졸업
1998년 3월~현재 한림성심대학교 전자정보통신과, 의료기기정보과, 방사선과 조교수, 부교수, 교수

<주관심분야: X-ray 영상시스템, 의학영상, 신경회로망, 퍼지논리시스템, 패턴인식>