

# 자기공명영상 동적검사 시 조영제 역류방지용 밸브의 유용성

## Usefulness of Reverse Flow Prevention Valves for Back-flow Prevention of Gadolinium Based Contrast Agent in Dynamic Examination of Magnetic Resonance Imaging

손순룡

원광보건대학교 방사선과

Soon-Yong Son(son6392@hanmail.net)

### 요약

이 연구는 자기공명영상검사 시 조영제 주입용으로 사용되는 자동주입기에서 조영제 역류에 의한 생리식염수의 오타 현상을 방지할 수 있는 대안을 모색하고자 하였다. 연구방법은 실린지 내에서 조영제 역류를 차단할 대안으로 밸브를 자체 제작한 다음, 임상적용의 유용성을 알아보기 위해 생리식염수의 상태를 세 그룹으로 나누고 조영제 주입을 실험하여 각각 채취한 생리식염수의 지방소거 T1 강조영상으로 신호강도를 비교하였다. 연구결과, 그룹 1의 조영제 주입 전 생리식염수와 그룹 3의 역류방지용 밸브를 적용한 조영제 주입 후 생리식염수가 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p>0.05$ ). 이는 자체 제작한 역류방지용 밸브가 조영제 주입 시 생리식염수로 역류하는 조영제를 완벽히 차단한 것으로 분석된다. 결론적으로 조영제 자동주입기를 활용한 자기공명영상 동적검사 시 본 연구에서 제시한 역류방지밸브를 적용한다면 조영제 역류로 인한 생리식염수의 오타 현상을 예방할 수 있으리라 본다.

■ 중심어 : | 역류방지용 밸브 | 조영제 역류 | 생리식염수 오타 | MRI 동적검사 | 조영제 자동주입기 |

### Abstract

The purpose of this study is to seek an alternative method to prevent the contamination of normal saline caused by the back-flow of Gadolinium Based Contrast Agent(GBCA) by the use of auto-injector for dynamic MRI. The research method is to manufacture the non-return valve as an alternative to the existing, and to examine the usefulness of the normal saline by dividing the state of normal saline into three groups. The signal intensity were compared. As a result, there was no statistically significant difference between normal saline before injection of group 1 and group 3 non-return valve ( $p > 0.05$ ). It is analyzed that the self-produced non-return valve completely blocked the GBCA back to normal saline when the GBCA was injected. In conclusion, the application of the non-return valve presented in this study for dynamic MRI imaging using the auto injector can prevent normal saline contamination due to GBCA back-flow.

■ keyword : | Non-return Valve | Reflux of Corast Agent | Saline Solution Contamination | Dynamic Magnetic Resonance Imaging | Auto Injector |

\* 본 연구는 2020년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해서 수행되었습니다.

접수일자 : 2020년 04월 02일

수정일자 : 2020년 05월 06일

심사완료일 : 2020년 05월 06일

교신저자 : 손순룡, e-mail : son6392@hanmail.net

## I. 서론

진단능력이 상대적으로 우수한 자기공명영상(magnetic resonance imaging, 이하 MRI) 동적검사(dynamic study)는 고식적인 MRI 검사와 달리 조영제를 주입하여 병변의 악성도(malignancy)나 중증도(severe severity)를 정량적으로 평가할 수 있는 유용한 검사로서 최근 들어 검사 비중이 증가하고 있다[1].

MRI 동적검사의 화질은 조영제를 얼마나 빠른 속도로 일정하게 주입하느냐에 따라 좌우되는데, 기존 방식으로는 조영제 주입을 빠르고 일정한 속도로 유지하기 어려워서 통상 자동주입기(auto-injector)를 사용하여 조영제를 주입한다[2].

MRI 동적검사에서 조영제 주입에 사용되는 자동주입기에는 조영제와 생리식염수가 각각 채워진 두 개의 실린지(syringe)로 구성되어 하나의 작은 연결관(Y-tubing with single check valve)으로 환자의 혈관과 연결된다[3]. 이러한 형태 때문에 조영제 주입을 위해 조영제가 채워진 실린지에 압력이 작용하면 연결된 관을 통해 생리식염수 방향으로 역류되어 교차오염(cross contamination)이 발생된다[4]. 즉 조영제는 혈관속으로만 주입되어야 효과적이데 일부가 압력에 의해 생리식염수 방향으로 역류되고, 이 조영제에 의해 생리식염수가 오염되는 것이다. 이렇게 오염된 생리식염수가 조영제 주입 때 혈관속으로 추가적으로 주입함으로써 감염이 발생할 우려가 있는 것이다[3].

이러한 오염된 생리식염수 주입은 조영제를 한번 주입하는 뇌혈관 조영검사와 같은 동적검사에는 문제가 없지만, 뇌종양이나 급성뇌경색 검사와 같이 조영제를 두 번 주입하는 동적검사의 경우 병변의 악성도나 중증도를 정량적으로 측정하는데 영향을 줄 수 있다[5].

병변의 악성도나 중증도는 조영제로 인한 조직의 조영증강효과와 밀접한 관련이 있는데 조영제 주입 시 압력으로 인해 생리식염수로 역류한 미량의 조영제는 생리식염수에 희석되어 생리식염수의 T1 이완시간을 짧게 하고, T1 이완시간이 짧아진 생리식염수는 불필요한 조직의 조영증강을 일으켜 정량적인 평가에 영향을 주기 때문이다[6].

이와 같은 문제가 발생하는 이유는 어떠한 액체를 주

입하기 위해 순차적으로 압력을 받는 두 개의 실린지가 아무런 방지장치 없이 하나의 관으로 연결되어 혈관으로 이어지게 만들어진 구조이기 때문이다. 즉 조영제와 생리식염수는 하나의 관으로 혈관과 연결되는데 하나의 관으로 두 개의 물질을 주입하다 보니 물질의 주입을 위해 하나의 주사기에 강한 압력이 작용하면 연결된 관으로 압력을 받은 물질이 반대 방향으로 역류하여 반대방향의 실린지 내의 물질을 오락시키는 구조적 문제점이 있는 것이다[7].

최근 코로나바이러스감염증-19(COVID-19)로 인하여 전 세계적으로 감염의 원인과 예방이 매우 중요한 이슈로 등장하고 있듯이 의료계의 모든 검사나 시술 등에서 감염우려의 사전 차단은 매우 중요하다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 연결관의 구조적 문제점 해결은 필수적이다. 그러나 대부분의 의료기관에서는 이를 간과하고 검사를 시행하고 있는 현실이며, 이로 인해 발생할 수 있는 오염된 생리식염수의 인체내 주입에 대한 문제의 심각성을 인지하지 못하고 있는 실정이다[8][9].

이 연구는 위와 같은 연결관의 구조적인 문제점을 인지하여 액체가 한 방향으로만 흐를 수 있도록 역류방지용 밸브를 적용한다면 한쪽의 압력이 증가하더라도 이 밸브로 인해 반대쪽에 영향이 없어 생리식염수의 오염 현상을 방지할 수 있을 것으로 판단하였다. 이를 위해 단방향(one-way) 역류방지용 밸브를 자체 제작한 후 MRI 동적검사 시와 동일하게 적용하여 조영제 역류를 차단할 수 있는 효과를 증명하고자 하였다.

## II. 연구대상 및 방법

역류방지용 밸브의 제작은 단방향으로 액체가 흐를 수 있도록 한쪽 직경이 0.3mm 이고 반대쪽이 0.5mm 인 원통형 관(tube)에 직경 0.4mm의 발포폴리스티렌(expanded polystyrene) 볼(ball)을 삽입하여 제작하였다. 발포폴리스티렌 볼은 폴리스티렌수지에 발포제를 가하여 제작해서 신축성이 있으며, 밸브는 0.5mm 쪽에서 액체가 유입될 경우 흐르지 않고 0.3mm 쪽에서 액체가 유입될 경우 흐르도록 단방향으로 제작하였다.

제작한 역류방지용 밸브의 연결관은 직경 0.5mm 부

분을 조영제 방향으로 연결하였고 0.3mm 부분을 생리식염수 방향으로 연결하여 조영제가 주입될 경우 역류방지용 밸브로 하여금 조영제가 생리식염수로 넘어가는 것을 차단하고 생리식염수가 유입될 경우는 다시 밸브가 열려 흐르도록 제작한 구조이다[Fig. 1].



Fig. 1. Mimetic diagram of self-produced non-return valve

실험방법은 MRI 동적검사 시와 동일하게 조영제와 생리식염수 실린지를 자동주입기에 장착한 다음, 생리식염수의 상태를 세 그룹으로 나누어 조영제 주입을 테스트하였다. 각각의 생리식염수를 채취하여 영상을 획득한 다음, 비교를 통해 역류방지용 밸브의 유용성을 증명하였다. 생리식염수 그룹은 조영제 주입 전 순수한 생리식염수를 그룹 1로, 기존 방법대로 조영제 주입 후 남은 생리식염수를 그룹 2로, 그리고 새로운 역류방지용 밸브를 적용하여 조영제를 주입한 후 남은 생리식염수를 그룹 3으로 분류하였다. 참고로, 조영제 주입 시 조영제가 역류하여 교차오염이 발생하는 생리식염수는 그룹 2로 기존 방법대로 조영제 주입 후 남은 생리식염수이다.

조영제는 세 그룹 모두 30회 씩 주입하여 실험하였으며, 실험을 통해 채취한 생리식염수는 조영제 주입 시 생리식염수로서 조영제가 역류되어 오염됐는지 확인하기 위해 지방소거 T1 강조영상을 획득하여 신호강도를 측정 후 평가하였다. 조영제 주입은 현재 임상에서 가장 빈번하게 사용하고 있는 자동주입기(Medrad, Spectris Solaris EP, Bayer)를 사용하여 임상에서 시행하는 검사방법이나 용량을 동일하게 하여(0.5 mmol의 가돌리늄 함유 조영제 15ml(Dotarem, Guerbet), 생리식염수 20ml, flow rate 2cc/sec) 주입하였고, 역류방지용 밸브 적용 여부 외에는 모든 변수를 통제하였다.

영상획득은 3.0T 초전도 자기공명영상장치(Achiva, Philips Healthcare, Netherland)와 SENSE Head Coil(8 channel)을 사용하여[Fig. 2] 지방소거 T1 강조영상을 획득하였으며, 지방소거 T1 강조영상의 세부

적인 매개변수는 [Table 1]과 같이 설정하였고 영상획득 시간은 각각 3분 10초였다.

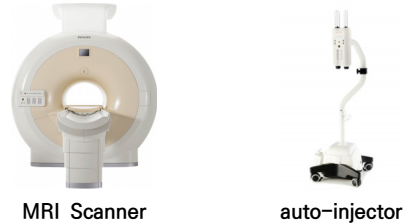


Fig. 2. Experiment equipment

Table 1. Image parameters

| TR (ms) | TE (ms) | FA (°) | FOV (mm) | Thickness/gap(mm) | Matrix  | NEX | Slice |
|---------|---------|--------|----------|-------------------|---------|-----|-------|
| 450     | 10      | 70     | 200×200  | 5/2               | 200×200 | 1   | 10    |

획득한 영상의 측정은 영상 평가프로그램(Image J, ver. 1.47v, NIH, USA)을 이용하여 20mm<sup>2</sup>의 관심영역(ROI)을 영상의 중심부에 설정한 후, 신호강도를 측정하였으며, 측정된 신호강도의 비교평가는 일원배치분산분석(ANOVA, SPSS ver. 22, IBM, Chicago IL, USA)과 Duncan의 사후분석을 병행하여 역류방지용 밸브의 적용 여부에 따른 영상의 신호강도에 유의한 차이가 있는지 알아보았다.

### III. 연구결과

조영제 역류 차단을 위한 역류방지용 밸브의 유용성을 알아보기 위해 그룹 별 생리식염수의 신호강도를 측정 결과, 그룹 1의 신호강도는 198.20±10.92, 그룹 2는 1235.63±421.58, 그룹 3은 200.86±10.82로 그룹 2(기존 방법대로 조영제 주입 후 남은 생리식염수)가 그룹 1(조영제 주입 전 생리식염수)보다 523.43%(1037.43), 그룹 3(역류방지용 밸브를 적용하여 조영제 주입 후 남은 생리식염수)보다 515.17%(1034.77) 높게 나타났다[Table 2].

Table 2. Signal intensity by group

| Group | Signal intensities of saline solution |
|-------|---------------------------------------|
| 1     | 198.20±10.92                          |
| 2     | 1235.63±421.58                        |
| 3     | 200.86±20.82                          |

그룹 별 신호강도 차이를 알아보기 위해 일원배치분산분석을 시행한 결과, 집단 간 제곱 합이 12083310.788, 집단 내 제곱 합이 3024740.818로 나타나 그룹 내 적어도 신호강도 값이 유의한 차이가 있는 다른 하나의 그룹이 존재함을 알 수 있다[Table 3].

Table 3. One-way distribution analysis by group

|                | Sum of Squares | Mean Squares | F      | Sig.  |
|----------------|----------------|--------------|--------|-------|
| Between Groups | 1208310.788    | 6041655.394  | 89.884 | 0.000 |
| Within Groups  | 2034740.818    | 67216.46263  |        |       |
| Total          | 15108051.606   |              |        |       |

신호강도 값이 유의한 차이가 있는 그룹을 알아보기 위해 Duncan의 사후분석을 시행한 결과, 유의수준 0.05에 대한 부집단이 2 개로 나타났다[Table 4]. 세부적으로 살펴보면 그룹 1과 그룹 3은 집단 1로, 그룹 2는 집단 2로 분류되었는데, 이는 새로운 역류방지용 밸브를 적용한 그룹 3이 조영제 주입 전 순수한 생리식염수인 그룹 1과 동일함을 의미한다.

Table 4. Post-Analysis of Duncan by Group

| Group | Subset for alpha = 0.05 |         |
|-------|-------------------------|---------|
|       | 1                       | 2       |
| 1     | 198.20                  |         |
| 3     | 200.86                  |         |
| 2     |                         | 1235.63 |
| Sig.  | .977                    | 1.000   |

위 결과는 [Fig. 3]의 그룹별 획득영상을 통해서도 확인할 수 있는데, 이와 같은 결과는 자체제작한 역류방지용 밸브가 조영제 주입 시 조영제 역류를 완전히 차단시켜 매우 유용함을 나타내는 결과이다.

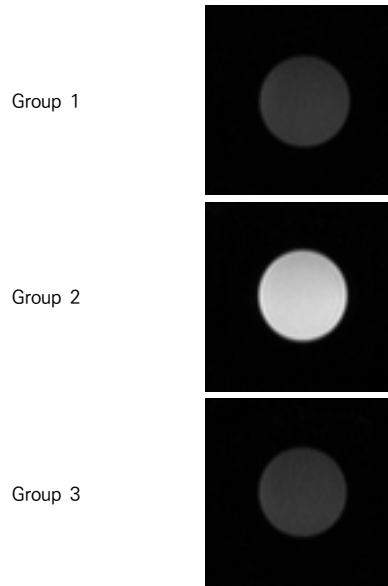


Fig. 3. Acquisition Image by Group

#### IV. 고찰

기존의 고식적 MRI 조영검사는 조영 전·후 영상의 비교를 통해 병변의 크기나 위치, 상태 등을 확인하기 위해 시행하였으나[10], 최근에는 동적검사를 통해 병변의 악성도나 증중도 등을 정량적으로 측정하기 위해 사용된다[11]. 정량적인 측정을 위한 동적검사는 정확도와 정밀도가 무엇보다 중요하므로 빠르고 일정한 조영제 주입속도를 유지하기 위해 자동주입기를 사용한다.

그러나 대부분의 자동주입기 시스템은 두 개의 실린지에 하나의 관이 연결된 방식으로 조영제 주입 시 압력에 의해 역류된 조영제가 생리식염수를 오염시켜 정확도와 정밀함이 요구되는 정량적 측정을 방해하는 문제점을 발생시킨다[7]. 정량적인 영상검사에 있어 부정확함은 병변의 진단능력을 저하시켜 환자에게 피해를 줄 수 있다. 특히 질병의 예후평가나 치료계획 수립이 주목적인 MRI 검사는 높은 진단능력이 요구되는데 위와 같은 자동주입기 연결관의 구조적인 문제로 인한 조영제의 역류는 MRI 검사의 정확성을 방해하는 심각한 요인인 것이다[8][9].

그러나 영상의학검사를 위해 환자에게 사용되는 조영제 자동주입기나 세트(실린지, 연결관, 기구 등)는 역류방지를 고려하지 않은 채 개발되어 상용화되고 있으며, 제품의 개선을 위해 더 이상의 투자를 하지 않는 실정이다. 이는 개선된 제품을 개발하더라도 기존에 설치된 고가의 조영제 자동주입기와 세트를 교체해야 함에 따라 비용의 손실이 따르기 때문이다. 이에 따라 구조적인 문제점이 발생하여도 자의적인 판단으로 간과하고 있는 것이다. 즉 조영제를 주입하는 검사에도 정밀함과 정확성이 매우 중요함에도 대부분 제품이 출시될 때 어떠한 문제 제기 없이 그대로 사용하고 있는 실정이다. 더욱이 조영제 역류로 인한 생리식염수 오탁 문제의 심각성 인식이 부족하고, 이를 방지하기 위한 관련 연구조차 전무하여 시급히 개선해야 할 사안이다.

이에 본 연구는 하나의 관으로 조영제와 생리식염수가 주입된다는 점에서 문제점을 착안하여 용액이 한 방향으로만 흐를 수 있도록 역류방지용 밸브를 적용한다면 조영제 실린지에 압력이 증가하더라도 밸브로 조영제가 차단되어 생리식염수의 오탁을 방지할 수 있을 것으로 판단하였다.

연구결과 조영제 주입 전 생리식염수 군의 신호강도( $198.20 \pm 10.92$ )와 새로운 역류방지밸브를 적용한 조영제 주입 후 생리식염수 군의 신호강도( $200.86 \pm 10.82$ )가 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $\text{sig}=.977$ ). 이와 같은 결과는 연구에서 자체 제작한 역류방지용 밸브가 조영제 주입 시 생리식염수로 역류하는 조영제를 완벽히 차단한 것으로 설명할 수 있으며, 조영제 역류로 인한 생리식염수의 오탁 현상을 방지할 수 있는 최적의 대안 중 하나임을 확인할 수 있다.

역류방지용 밸브는 많은 연구에서 유용성이 입증되었다. Jang[12]과 Kim[13]은 음용수의 오염방지를 위해 역류방지용 밸브를 사용하여 유용성을 입증하였고, Jeong 등[14]과 Kim 등[15]은 연동펌프의 문제점과 바이오용 마이크로펌프를 최적화하기 위해 역류방지용 밸브를 사용하여 유용성을 입증하였다. 그러나 아직까지 역류방지용 밸브를 MRI 검사에 적용한 연구나 사례는 없었다. 그러므로 본 연구가 MRI 검사에 역류방지용 밸브를 적용하여 유용성을 입증한 최초의 연구라는 점에서 학술적 의미가 있는 연구라고 할 수 있다.

최근 교차감염의 우려로 인해 일회용 주사기 재사용 금지법이 식품의약품안전처에 의해 2016년 신설되고 [16], 미국식품의약청 의료기기연구소와 독일 의약 및 의료용기를 위한 연방기구가 환자에게 사용되는 조영제 세트를 매환자마다 교체하도록 규제하고 있는 상황에서 [17] 역류방지용 밸브를 제품화 하여 상용시키면 교차 감염을 방지할 수 있는 하나의 대안이 될 수 있으리라 본다.

이 연구는 현실적인 어려움으로 인해 다양한 조영제 주입속도와 조영제 역류로 생리식염수에 희석되는 조영제량을 평가하지 못했다는 점과 역류방지용 밸브의 유용성을 평가한 연구이다 보니 실제 환자의 몸무게에 따라 투여되는 조영제의 양이 달라지는 임상실험을 시행하지 못했다는 제한점이 있다. 향후 추가적으로 몸무게에 따라 달라지는 조영제의 양에 대한 임상실험이 필요할 것으로 사료된다. 그럼에도 불구하고 관련 연구가 전무한 상태에서 문제를 개선하기 위해 역류방지용 밸브를 자체 제작하여 유용성을 입증함으로써 조영제 역류로 인한 생리식염수의 오탁 현상을 방지할 수 있는 대안을 제시하였다는 데에 큰 의의를 둘 수 있다.

결론적으로 조영제 자동주입기를 활용한 MRI 동적검사 시 이 연구에서 제시한 역류방지밸브를 적용한다면 조영제 역류로 인한 생리식염수의 오탁 현상을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. R. Edelman, "MR angiography: present and future," American journal of roentgenology, Vol.161, No.1, pp.1-11, 1993.
- [2] W. W. Mayo-Smith, S. Saini, G. Slater, J. A. Kaufman, P. Sharma, and P. F. Hahn, "MR contrast material for vascular enhancement: value of superparamagnetic iron oxide," American journal of roentgenology, Vol.166, No.1, pp.73-77, 1996.
- [3] S. Y. Son, "Syringe Reuse Issues in Automated Contrast Injection System in Dynamic Magnetic Resonance Imaging," The Journal of

- the Korea Contents Association, Vol.19, No.11, pp.445-450, 2019.
- [4] Y. H. Kim, "Causes and prevention of back flow in cold water piping," Journal of SAREK, pp.226-272, 2001.
- [5] H. Myung, S. B. Lee, J. K. Rho, B. W. Yoon, W. Y. Lee, M. H. Kim, J. H. Kim, B. Wie, C. S. Chung, and O. S. Kwon, "Current status of cerebrovascular disease in Korea," Journal of the Korean Neurological Association, Vol.7, No.2, pp.179-187, 1989.
- [6] V. M. Runge, J. E. Kirsch, and C. Lee, "Contrast-enhanced MR angiography," Journal of Magnetic Resonance Imaging, Vol.3, No.1, pp.233-239, 1993.
- [7] D. T. Gretzinger, J. A. Cafazzo, J. E. F. F. R. E. Y. Ratner, A. C. Easty, and J. M. Conly, "Validating the integrity of one-way check valves for the delivery of contrast solution to multiple patients," Journal of Clinical Engineering, pp.375-382, 1996.
- [8] H. N. Bum, I. G. Ham, J. B. Han, J. N. Song, and N. G. Choi, "Bacterial Contamination and Work Efficiency of Contrast Transfer Set: Comparison Single with Dual Contrast Transfer Set," The Journal of the Korea Contents Association, Vol.14, No.12, pp.294-302, 2014.
- [9] H. S. Thomsen, "Contrast media safety—an update," European journal of radiology, Vol.80, No.1, pp.77-82, 2011.
- [10] B. Buerke, A. K. Sonntag, R. Fischbach, W. Heindel, and B. Tombach, "Automatic injectors in magnetic resonance imaging and computed tomography: pilot study on hygienic aspects," RoFo, Vol.176, No.12, pp.1832-1836, 2004.
- [11] M. R. Prince, "Gadolinium-enhanced MR aortography," Radiology, Vol.191, No.1, pp.155-164, 1994.
- [12] C. Jang, "역류방지를 위한 시공사례-생물 안전 밀 폐쇄시험실 (BL3)에서의 급수 역류방지 밸브의 이용 및 검증," The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol.45, No.11, pp.42-49, 2016.
- [13] Y. H. Kim, "음용수 배관에서의 역류방지 대책," The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol.45, No.11, pp.32-39, 2016.
- [14] Y. S. Jeong, C. S. Lee, and T. K. Lee, "A Study for Regulating Flow Fluctuation and Preventing Backflow of Peristaltic Pump," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol.19, No.5, pp.28-34, 2016.
- [15] H. J. Kim, Y. H. Seo, and B. H. Kim, "Design and Fabrication of PZT Disc Actuated Micro Pump for Bio-applications (I): Optimal Design of Ring-shaped Flap Valve Module," Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol.21, No.3, pp.355-361, 2012.
- [16] 국가법령정보센터: 의료법 제2장, 제1절, 제4조, 6항, <http://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EC%9D%98%EB%A3%8C%EB%B2%95>
- [17] B. Buerke, A. Mellmann, C. Stehling, J. Wessling, W. Heindel, and K. U. Juergens, "Microbiologic contamination of automatic injectors at MDCT: experimental and clinical investigations," American Journal of Roentgenology, Vol.191, No.6, pp.283-287, 2008.

## 저자 소개

손 순 룡(Soon-Yong Son)

정희원



- 1999년 2월 : 단국대학교 보건행정학과(보건행정학석사)
- 2013년 8월 : 한양대학교 보건학과(보건학박사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 원광보건대학교 방사선과 교수

<관심분야> : 보건학, 방사선진료영상학