
진단용 방사성 의약품의 정도관리

Quality Control of Radiopharmaceutical

안성민*, 홍태기**, 함준철*, 김성철*
가천의과학대학교 방사선학과*, 한서대학교 화학과**

Sung-Min An(sman@gachon.ac.kr)*, Tae-Kee Hong(tkhong@hanseo.ac.kr)**,
Jun-Cheol Ham(0420a@hanmail.net)*, Sung-Chul Kim(sckim@gachon.ac.kr)*

요약

본 연구의 목적은 방사성 의약품의 정도관리 실험 중 방사선 및 의약품측면에서의 방사핵종 순도, 화학적 순도, 방사화학적 순도의 세 가지로 진행하였다. 또한 방사성 의약품을 표지 후 시간에 따른 표지 효율을 관찰함으로써 실제 임상에서 표지 후 어느 정도의 시간이 경과해도 사용이 가능한지 실험해 보았다.

그 결과 현재 임상에서 사용되고 있는 방사성의약품의 방사성핵종 순도와 화학적 순도는 양호한 편이었으나, 방사화학적 순도는 표지방법과 표지 시간에 따라 약간의 차이를 띄고 있었다. 방사성 의약품은 시술자의 손을 거쳐 표지되기 때문에 표지과정에 주의를 하여 정도관리에 임한다면 보다 효율적인 검사가 가능할 것으로 보여 진다.

■ 중심어 : | 방사성 의약품 | 정도관리 | 방사성핵종 순도 | 화학적 순도 | 방사화학적 순도 |

Abstract

Quality control test in this field of study were carried out in 3 categories, radionuclidic purity, chemical purity and radiochemical purity. Also, indication efficiency was tested every 3 hours changed after binding the radiopharmaceutical to see how long the medicine is available for usage after indicating.

The result showed that currently used radiopharmaceutical have good radionuclidic purity and chemical purity. However, radiochemical purity indication showed small differences depending on indication method and indication period. Radiopharmaceutical are indicated by treatment providers, so they need to pay more attention to the indication process and quality control to provide more efficient treatment.

■ Keyword : | Radiopharmaceutical | Quality Control | Radionuclidic Purity | Chemical Purity | Radiochemical Purity |

I. 서론

방사성의약품을 효율적이고 안전하게 사용하기 위해서는 방사성핵종 순도 및 방사화학적 순도가 높아야 한

다. 만약 제조된 방사성의약품 속에 다른 핵종이나 다른 화학적 형태의 방사능이 존재하면 진단할 때 방해가 되며 오진의 원인이 되므로 모든 방사성 의약품에 대한 정도관리가 행해져야 한다[1].

* 본 연구는 2008년 한국과학재단 원자력연구기반확충사업 인력양성분야의 연구과제로 수행되었습니다.

접수번호 : #090804-006

접수일자 : 2009년 08월 04일

심사완료일 : 2009년 08월 25일

교신저자 : 김성철, e-mail : sckim@gachon.ac.kr

방사성동위원소의 이용이 크게 증가하고 있어 시술자와 환자의 피폭이 증가되고 있으며 이로 인한 방사성 의약품의 정도관리에 대한 중요성이 대두되고 있다. 같은 환자가 주기적으로 검사를 시행하는 경우도 많아지고, 진단 핵의학의 유용성이 커지면서 결국은 좀 더 많은 이용 환자가 생겼기 때문이다. 특히 ^{99m}Tc 으로 표지된 의약품이 물리적 성질이 우수하고 사용이 용이하여 많이 사용하고 있으며, 1997년 6월 한국원자력연구소에 하나로 센터를 설치 후 자급을 또한 높아지고 있다[2]. 이러한 변화가 계속 되면서 기기적 발전 또한 계속 되어 왔으며, 핵의학 영상검사는 2002년에 41만 여건에서 2007년에는 56만 여건으로 5년 사이 36%이상 증가 되었다[3]. 이러한 변화로 인해 영상의 질 향상을 위하여 기기적 발전에만 의존할 것이 아니라 진단 핵의학의 기초가 되는 방사성 의약품의 질적 관리에 관심을 갖고 정도관리에 힘을 써 좀 더 효율적인 검사를 해야 한다는 것을 잊지 말아야 한다.

본 연구에서는 진단 핵의학의 검사에 가장 많이 이용되는 ^{99m}Tc 방사성 동위원소의 질적 관리를 방사선 및 의약품 측면에서의 방사성핵종 순도, 화학적 순도, 방사화학적 순도의 세 가지로 진행하였다. 방사성핵종 순도는 용출된 ^{99m}Tc 용액 속에 ^{99}Mo 이 얼마나 포함되어 있는가를 측정하는 실험으로 발생기에서 용출한 ^{99m}Tc 용액이 기준을 만족하더라도 ^{99m}Tc 의 반감기가 ^{99}Mo 에 비해 훨씬 짧기 때문에 시간이 지남에 따라 ^{99}Mo 의 비율이 늘어나 이 기준치를 넘게 되는 수가 있다. 화학적 순도의 경우 ^{99m}Tc 용액 속에 Aluminum 이온의 오염 여부를 실험하는 것이다. Generator를 공장에서 제조할 때 정도관리가 잘못되면 Alumina Column의 불량품이 생길 수 있다. 이런 경우 생리식염수에 의해 Aluminum 이온이 용출되어 나올 수 있다. Aluminum 이온이 존재하면 표지 시 Colloid를 형성하거나 적혈구 응집 반응을 일으켜 예기치 않은 결과를 초래할 수 있으므로 화학적 순도의 측정은 꼭 필요하다. 방사화학적 순도는 표지 후 존재하는 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 와 교질을 측정하는 것으로 이런 불순물은 목적하는 방사성 의약품과 전혀 다른 생체내 분포를 보이므로 방사화학적 순도가 낮게 되면 영상의 질이 저하되고, 흡수선량이 증가되어, 진단에 심각

한 문제를 일으킬 수 있다[4][5]. 본 연구에서는 이러한 각 각의 정도관리를 경인 지역 대학병원 2곳(이하 가병원, 나병원)에서 시행하였으며 방사성핵종 순도실험 40회, 화학적 순도실험 34회, 방사화학적 순도실험 55회의 연구를 수행 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 실험기간 및 대상

실험은 연구 방법 및 문헌 조사, 실제 실험의 순으로 진행되었으며, 대상은 경인 지역 대학병원 2곳으로 가병원 핵의학과에서 85회, 나병원 핵의학과에서 44회가 시행되었다.

연구 방법 및 문헌 조사는 2008년 7월부터 2008년 10월 까지 시행 하였으며, 병원에서의 실험은 2008년 11월 10일부터 2009년 2월 28일 까지 시행 하였다. 그 중 방사성핵종 순도는 40회, 화학적 순도는 34회, 방사화학적 순도는 MDP 13회, DMSA 10회, Mebrofenin 12회, ECD 11회, MAG₃ 9회로 총 55회를 시행 하였다. 또한 방사화학적 순도는 시간에 따른 표지율 변화 관찰을 위해 각 각의 의약품 당 3회의 시간적 변화에 따른 표지율 변화를 측정 기록하였다.

2. 사용장비 및 기기

- ^{99}Mo - ^{99m}Tc Generator
A-삼영유니텍(한국), B-Fuji(일본), C-Tyco(미국)
- Dose calibrator (atomlab 100puls, Biodex Medical Systems사)
- 6mm Leaden courage(Moly-Shield, Biodex Medical Systems사)
- Aluminum standard solution (10 μgAl^{3+} /ml, Biodex Medical Systems사)
- Biodex Medical Systems사의 Aluminum 50 indicator (여과지)
- 3MM whatman, ITLC SG paper(Biodex Medical Systems사)

- Scaler Ratemeter (Model 2200, Ludlum Measurements, Inc)
- Sheided Well Scintillator (Model 203, Ludlum Measurements, Inc)
- MDP(메드론산) 및 manual(GE Healthcare Limited사)
- DMSA(디메르캄토호박산) 및 manual (Mallinckrodt Medical BV사)
- Mebrofenin 및 manual (한국원자력연구원)
- ECD(뉴롤라이트) 및 manual (Bristol-Myers Squibb Medical imaging Inc)
- MAG3(베타아티드) 및 manual(Mallinckrodt Medical BV사)

3. 국내규정 및 미국약전

3.1 방사성핵종 순도

미국 약전(USP XX)에 의하면 환자 주사시 1 mCi의 ^{99m}Tc에 대해 0.15 μCi이하의 ⁹⁹Mo까지 허용된다. 즉 순도 99.985%이상 이어야 한다[9].

3.2 화학적 순도

미국 약전(USP XX II)에 의하면 용출액 중의 Aluminum 이온 농도는 방사성 핵종 1 ml당 Aluminum 이 10 μg을 초과해서는 안 된다(10 μg/ml 이하)[9].

3.3 방사화학적 순도

방사 화학적 순도는 각 표지물마다 규정이 다르며[표 1], 보통 85~90%이상의 표지율을 갖고 있어야 임상에 이용이 가능하다[10].

표 1. 각 표지물에 따른 최소허용 표지율 (%)

^{99m} Tc 표지물	MDP	DMSA	Mebrofenin	ECD	MAG ₃
최소 허용 표지율(%)	90	85	90	90	90

4. 실험방법

14.1 방사성핵종 순도

- 1) Dose calibrator[그림 1]의 배후방사능을 측정한다.
- 2) Generator에서 ^{99m}Tc를 용출한다.
- 3) Dose calibrator의 Mode를 ^{99m}Tc으로 맞춘 뒤 Generator에서 용출된 방사성 의약품의 바이알을 넣고 ^{99m}Tc의 방사능을 측정한다.

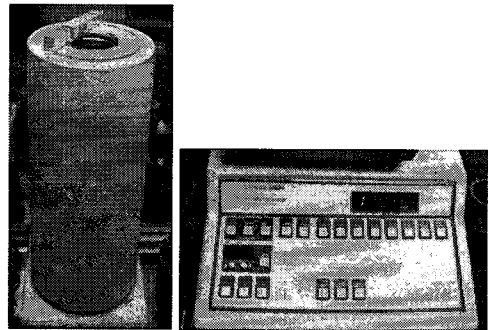


그림 1. Dose calibrator(atomlab 100puls)

- 4) 측정 후 용출된 방사성 동위원소의 바이알을 ^{99m}Tc의 에너지는 차단하면서 ⁹⁹Mo의 에너지는 측정 가능한 Moly-Shield[그림 2]에 넣는다.
- 5) Dose calibrator의 Mode를 ⁹⁹Mo으로 맞춘 뒤 ⁹⁹Mo 방사능을 측정한다.

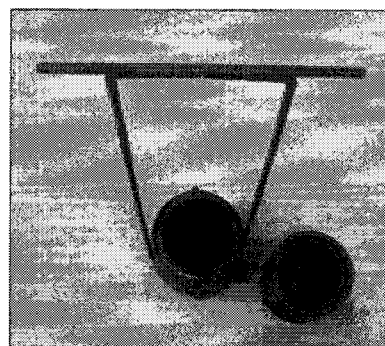


그림 2. Moly-shield

- 6) 각 각의 방사능은 처음 측정한 BKG를 제외한 방사능을 기록한다.
- 7) 다음 식에 의해 ⁹⁹Mo방사능이 제한 범위 내에 있는지를 결정한다[8].

$$^{99m}\text{Tc}/^{99}\text{Mo} \text{ 방사능}(\mu\text{Ci})/^{99m}\text{Tc} \text{ 방사능}(\text{mCi}) \leq 0.15 \mu\text{Ci}/\text{mCi} \quad (1)$$

4.2 화학적 순도

- 1) Generator에서 ^{99m}Tc를 용출한다.
- 2) Aluminum 표준액(Aluminum standard solution 10 μgAl³⁺/ml)을 지표 스트립에 점적한다.
- 3) 10 μgAl³⁺/ml의 Aluminum 표준액과 같은 부피의 Generator 용출액을 점적한다.
- 4) Aluminum 표준액과 Generator 용출액을 점적시킨 부위의 분홍색의 강도를 비교한다. 만약 Generator 용출액을 점적한 부위의 발색 정도가 10 μgAl³⁺/ml 표준액보다 약하면 용출액이 10 μgAl³⁺/ml이하의 Al 이온을 함유하는 것이다 [8][11][12].

4.3 방사화학적 순도

보통 표지된 방사성 의약품은 약 8시간 후면 ^{99m}Tc의 Freeform이 많아져서 표지효율이 떨어지게 된다. 처음 표지 효율과 시간에 따른 표지 효율의 변화를 관찰하기 위해 실험 기간 동안 오전 8시 용출 후 표지된 방사성 의약품의 표지율과 그 후 각각 3시간 후의 표지율을 측정하여 총 9 시간 동안 표지율을 비교 하였다. 표지율을 측정하는 방법으로는 MDP, DMSA, Mebrofenin은 박층 크로마토그래피법이 이용되었으며, ECD와 MAG3는 Filter법을 이용하였다. 이 때 MAG3의 표지는 중탕과 같은 효과를 내는 전자렌지를 이용하여 14초간 가열하는 표지방법으로 시행하였다.

4.4 박층 크로마토그래피법[1][11][13]

- 1) 길이 10 cm, 폭 1 cm의 3MM whatman paper와 ITLC SG paper를 준비한 후 각 끝단에서 1 cm와 중앙 5 cm의 위치에 각각 표시 한다
- 2) 이 때 표시는 3MM whatman paper의 경우 유성볼펜으로 선을 긋고, ITLC SG paper의 경우는 연필로 선을 긋는다.
- 3) 표시된 각 구역을 1, 2, 3, 4구역으로 나눈 후 1과 3구역 끝단에 generator에서 용출 후 의약품과 표

지된 용액을 점적한다.

- 4) 점적 후 3MM whatman paper는 아세톤에, TLC SG paper는 생리식염수에 넣어 전개 시킨다. 이 때 아세톤과 생리식염수는 1과 3구역 끝단 밑의 1 cm를 넘지 않도록 한다.
- 5) 전개 시킨 용액이 2, 4구역의 끝 단 1cm까지 올라 오면 3MM whatman paper와 TLC SG paper를 꺼내어 충분히 건조 시킨다. 이 때 충분히 건조 시키지 않고 계수하면 제대로 된 측정값을 얻을 수 없다.
- 6) 건조 시킨 후 3MM whatman paper와 TLC SG paper를 중앙부의 5 cm부분을 잘라 1, 2, 3, 4구역을 Sheded Well Scintillator이용하여 각각 Count 한다. 이 때 Scaler Ratemeter의 조건은 HV 01:00, window 01:40, Th 00:16 으로 조절 후 시행 되었다.
- 7) 다음의 식을 이용하여 방사 화학적 순도를 계산 할 수 있다.

$$\%TcO_4 = (\text{구역 2의 cpm} / \text{구역 1의 cpm}) + (\text{구역 2의 cpm} \times 100) \quad (2)$$

$$\%Tc - \text{교질} = (\text{구역 3의 cpm} / \text{구역 3의 cpm}) + (\text{구역 4의 cpm} \times 100) \quad (3)$$

$$\text{방사화학적 순도}(\%) = 100 - (\%TcO_4 + \%Tc - \text{교질}) \quad (4)$$

4.5 Filter법[7][12]

- 1) Ethanol을 6 cc 뽑아서 준비된 Filter에 통과 시키는 전 처치를 시행한다.
- 2) Syringe에 표지된 방사성 의약품을 담은 뒤 count 하고, Filter에 진공 바이알과 Syringe를 연결하여 표지된 방사성 의약품을 1 cc 통과 시킨다.
- 3) Syringe는 통과 시킨 후 다시 count하며, 통과된 Filter에 다시 Ethanol 6 cc를 통과 시킨다.
- 4) 그 뒤 Filter와 바이알을 각각 count한다.
- 5) 이렇게 하면 진공 바이알에는 표지된 의약품이 남게 되고, Filter에는 표지되지 않은 의약품만이 남게 되며 Syringe의 통과 전, 후 count를 통해 실제

통과된 방사성 의약품 양을 알 수 있다.

6) 다음의 식을 통해 방사 화학적 순도를 계산 한다.

$$\begin{aligned} \text{실제 투여량} &= (\text{Syringe 통과 전 count}) \\ &\quad - (\text{Syringe 통과 전 count}) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{방사화학적 순도}(\%) &= (\text{Filter count} / \text{Filter count}) \\ &\quad + (\text{바이알 count}) \end{aligned} \quad (6)$$

III. 실험결과

1. 방사성핵종 순도

방사성 핵종 순도는 총 40회 실험 결과 평균 0.016 $\mu\text{Ci}/\text{mCi}$ 가 나왔으며, 이 수치는 규정에 비해 약 1/10 정도에 해당하므로 매우 양호 하였으며, 국산과 외산 역시 차이가 큰 차이가 없었다. 각 Generator별 실험 수치는 다음과 같다([표 2]).

표 2. 방사성핵종 순도의 제조사 및 병원별 결과

	가병원	나병원	계	핵종 순도 ($\mu\text{Ci}/\text{mCi}$)
외산 A	5	13	18	0.01637
외산 B	7		7	0.01110
국산	6	9	15	0.01808
계	18	22	40	0.01609

2. 화학적 순도

화학적 순도는 총 34회 실험 결과 국산과 외산 상관 없이 34회 모두 10 $\mu\text{gAl}^{3+}/\text{ml}$ 의 Aluminum 표준액보다 적은 발색을 보였으며, 발색의 정도 또한 매우 약하게 관찰 되었다. 총 실험결과는 다음 [표 3]과 같다.

표 3. 화학적 순도의 제조사 및 병원별 결과

	가 병원	나 병원	계
외산 A	5회 모두 양호	13회 모두 양호	18회 모두 양호
외산 B	3회 모두 양호		3회 모두 양호
국산	4회 모두 양호	9회 모두 양호	13회 모두 양호
계	12회 모두 양호	22회 모두 양호	34회 모두 양호

3. 방사화학적 순도

방사화학적 순도는 총 55회에 걸쳐 실험하였으며, 그 중 15회는 시간의 따른 표지 변화를 실험 기록 하였다. MDP, DMSA, Mebrofenin, ECD의 경우는 안정적이고 높은 순도를 보였으나 MAG_3 의 경우는 평균적으로 낮은 순도를 나타내었다. 순도측정결과는 다음의 표와 같다([표 4]).

표 4. 각 방사성 의약품별 평균 표지율

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 표지율	MDP	DMSA	Mebrofenin	ECD	MAG_3	계
실험 회수	13	10	12	11	9	55
평균표지율(%) (최소허용표지율)	99.08 (90)	87.02 (85)	93.98 (90)	98.67 (90)	80.20 (90)	91.79

4. 시간에 따른 표지율

시간에 따른 표지율 변화는 각 방사성 의약품별로 다음의 그래프와 같이 나타났으며, 9시간 까지는 첫 표지율에 비해 줄어들기는 했으나 임상에 적용하는데 충분한 표지율을 기록했다[그림 3]. 현재 병원에서는 최대 용출시간인 약 23시간 마다 용출을 하고 표지[4] 하여 사용하게 되는데 이는 하루 사용량을 아침에 표지하더라도 9시간 까지는 표지율에 급격한 변화가 없으므로 당일 검사의 사용에 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

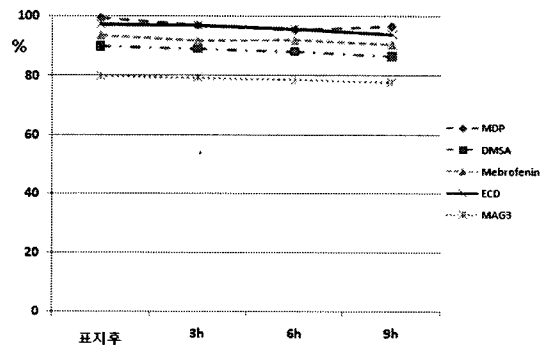


그림 3. 시간에 따른 각 방사성의약품의 표지율 변화

IV. 결론

진단 핵의학검사에서는 많은 종류의 방사성 의약품이 사용되며, 방사성 의약품의 질적 관리는 결국 시술자 및 환자의 적은 방사선 피폭과 방사성 의약품의 효율적 사용에 직결된다. 아무리 기기가 좋고 시술자가 정확한 검사를 하더라도 방사성 의약품의 질 저하는 영상의 질 저하를 가져오며, 진단상의 오류를 가져와 검사 자체의 정당성을 잃게 만드는 것이다. 그러므로 방사성 의약품의 철저한 정도관리는 의약품의 질적 향상을 가져올 뿐 아니라 보다 효율적이고 안전한 사용의 밑거름이 될 것이다. 본 실험에서는 이러한 정도관리를 시행함으로써 정도관리의 중요성을 인식하고, 부족한 점이 무엇인지 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 방사성 핵종 순도와 화학적 순도는 무척 양호한 결과를 가져왔다. 그 뿐 아니라 국산 Generator와 외산 Generator에 대한 결과 역시 큰 차이를 보이지 않으며 우수한 결과를 나타냈다. 이로써 방사성의약품의 제조 단계에서 질적 관리는 충분히 검증되었고, 임상에서의 사용이 무리 없이 진행되고 있음을 알게 되었다.

2. 방사화학적 순도 실험에서는 5가지의 표지물 중 MDP, Mebrofenin, ECD는 무척 높은 표지율을 보인 반면 DMSA의 경우는 규정치를 조금 웃도는 정도였고, MAG3의 경우는 규정치를 밑돌았는데 이는 MAG3의 일반적인 제조과정 중 표지효율이 떨어진 것으로 나타난다. MAG3는 끊어서 사용하는 방사성 의약품으로 바이알에 ^{99m}Tc 주사액을 가한 뒤 흔들어서 95~99°C에서 10분간 가열 후 실온에서 15분간 방냉하여 조제 하는데 본 실험에서는 같은 효과를 내는 전자렌지에 14초간 가열하여 표지하는 방법을 사용하였다. 그 만큼 시술자의 손이 많이 들어가게 되며 이 과정에서 다른 의약품에 비해 표지효율이 저하될 가능성도 큰 의약품이다. 그러므로 이렇게 표지효율이 저하될 가능성이 있는 의약품은 조제과정 및 정도관리에 더 관심을 갖고 검사의 효율성을 높일 필요가 있다고 사료된다.

3. 시간에 따른 표지율 변화를 실험하였는데, 첫 용출 후 표지율과 3, 6, 9시간 후 각각의 표지율은 급격한 변화가 없었을 뿐 아니라 저하된 수치 역시 규정치를 상

회하고 있었다. 이는 현재 임상에서 이루어지는 최대용출시간 후 용출하고 표지하여 사용한다면 당일 사용에 있어 큰 영향을 미치지 않아 사용에 문제가 없다는 것으로 나타났다.

앞서 거론했듯이 방사성 의약품의 정도관리의 모든 항목을 임상에서 일부만하고 제조사에서 이루어져서 저사출시된다. 이는 우리가 정도관리를 신경 쓰지 않거나 소홀히 해도 되는 것이 아니라 임상의 검사에 좀 더 효율적인 시간분배를 위해서 이렇게 사용해온 것이다. 하지만 우리가 이러한 방식에 안주하지 않고 새로 제조된 방사성의약품 구입 시에는 각 병원사정에 따라 환자에게 사용하기 전 정도관리를 실시하면 보다 효율적인 진단 핵의학검사를 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 정준기, 이명철, "고창순 핵의학 3판", 고려의학, Contents Authoring, 2008.
- [2] 안성민, "방사성의약품인 ^{99m}Tc -Tetrofosmin의 분할사용 및 표지효율에 관한 연구", 가천길대학 논문집, 제26호, pp.339-340, 1998.
- [3] 김창호, "대한핵의학기술학회 30년사", 대한핵의학기술학회, 2008.
- [4] 이준일, "핵의학기술학", 대학서림, 1993.
- [5] B. S. Gopal, "Quality control of radiopharmaceuticals," "Fundamentals of Nuclear Pharmacy," 2003.
- [6] 대한핵의학회, "핵의학 기술 지침", 의학문화사, 1993.
- [7] B. S. Gopal, "Fundamentals of Nuclear Pharmacy, 5th-Ed.," Springer, 2004.
- [8] P. E. Christian, "Nuclear Medicine and PET/CT", Mosby, 2007.
- [9] 대한핵의학회 방사성의약품연구회, "방사성의약품 제조관리 지침서 발간 및 평가기준 설정", 식품의약품안전청, 2004.
- [10] 박성욱, 안성민, 양한준, 유광열, 이경성, 이만구,

김희중, "Nuclear Medicine Science", 보문서원, 2005.

[11] 염미경, 정재민, 진광호, 조규진, 정준기, 이명철, 고창순, "Miniaturized Chromatography에 의한 ^{99m}Tc -표지 방사성의약품의 정도 관리", 대한핵의학회지, 제24권, 제1호, pp.133-137, 1990.

[12] 정재민, "방사성의약품 정도관리", 대한핵의학회지, 제32권, 제5호, p.469, 1998.

[13] 박인석, 황재호, 최정현, 김인수, 박금주, 박인식, "크로마토그래피를 이용한 ^{99m}Tc 표지화합물의 표지율 변화에 관한 연구", 서울보건대학 방사선과 학회지, 제7호, pp.19-22, 2006.

저 자 소 개

안 성 민(Sung-Min An)

정회원



- 2009년 3월 : 한서대학교 화학과 (박사수료)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 가천의과학대학교 방사선학과 교수
- <관심분야> : 핵의학, 방사선관리

홍 태 기(Tae-Kee Hong)

정회원



- 1988년 8월 : 한양대학교 화학과 (이학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 화학과 교수
- <관심분야> : 분석화학

함 준 철(Jun-Cheol Ham)

준회원



- 2006년 3월 ~ 현재 : 가천의과학대학교 방사선학과 재학중
- <관심분야> : 방사성의약품

김 성 철(Sung-Chul Kim)

정회원



- 2009년 8월 : 전북대학교 방사선과학기술학과(이학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 가천의과학대학교 방사선학과 교수
- <관심분야> : 방사선기기, 의료선량