

화학공학산업에서의 방사성동위원소추적자 이용

진 준 하

1. 서 론

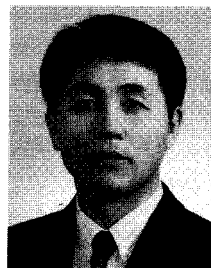
주지하는 바와 같이 원소의 종류는 원자핵 내의 양성자 수에 의해 정해진다. 한 원소는 몇 가지의 질량을 가질 수 있는데, 이는 핵 내의 중성자의 수가 서로 다르기 때문이다. 이러한 원소들을 동위원소(isotope)라 하고, 이들 중에서 핵이 불안정하여 알파, 베타 혹은 감마선을 방출하는 동위원소를 방사성동위원소(radioisotope)라 한다. 라듐이나 라돈 등과 같이 자연에도 방사성동위원소가 존재하지만, 현재 사용되고 있는 대부분의 방사성동위원소는 원자로나 고 에너지의 입자선가속기에 의해 생성되는 인공방사성동위원소이다.

방사성동위원소는 현대의 물리, 화학, 생물, 의학, 농학 등 거의 모든 자연과학 분야의 발전은 물론 공업기술의 발전에도 매우 중요한 역할을 해왔다. 방사성동위원소의 이용은 이들로부터 방출되는 방사선에 의해 일어나는 물리·화학적 반응을 이용하는 분야와 방사성동위원소 자체의 거동을 이용하는 분야로 대별된다. 고분자와 관련된 전자의 예로는 방사선에 의한 고분자 물질의 가교, 중합, 분해, 그래프트 등을 이용하는 것으로 다양한 기능성 고분자 물질의 제조와 기존재료의 개질 등에 활용되고 있다.¹ 후자의 경우는 핵반응 자체를 연구하는 분야와 방사성동위원소를 추적자로 이용하는 분야가 포함된다.² 방사성동위원소추적자는 화학반응 메카니즘 및 속도의 규명, 확산 속도 측정, 생체 내에서의 특정 성분의 이동 관찰 등 미시적인 추적자기술도 많이 이용되고 있으나, 여기서는 석유, 화학산업 등 여러 산업생산시설에서 사용되는 거시적 방사성동위원소추적자 기술에 대하여 언급하고자 한다.

추적자(追跡子, tracer)는 물질의 움직임이 있는 곳에

서 관심의 대상인 어떤 물질이 이동하는 경로, 속도, 체재시간, 혼합, 분포 등 제반 이동과 관련한 제반 특성을 알아보기 위하여 인위적으로 넣어주는 물질이다. 종래에는 육안으로도 추적이 가능한 형광염료나 화학적 분석이 가능한 각종 화합물 등이 주로 추적자로 사용되어 왔다. 그러나 근래에는 원자력기술의 발전으로 다양한 방사성동위원소의 제조가 가능해짐에 따라 이를 이용한 추적자 기술이 다양하게 개발되어 이용되고 있다. 실험대상의 거동에 대한 정확한 정보를 얻기 위해서는 무엇보다도 사용되는 추적자의 물리적, 화학적 성질이 대상물질과 같거나 유사해야 하고, 용이하고 정확하게 측정할 수 있는 물질이어야 하는데, 이러한 면에서 방사성동위원소추적자는 다른 종류의 추적자에 비해 몇 가지 장점을 가지고 있다.

방사성동위원소추적자로는 부득이한 경우를 제외하고는 투과력이 높은 감마선 방출 동위원소를 사용한다. 따라서 방사성동위원소를 대상물질에 넣어주면 방사선검출기로 용기의 외부에서도 추적자의 움직임을 쉽게 관찰할 수 있으므로, 다른 추적자의 경우에서처럼 시료를 따로 채취하여 분석하지 않고도 더 정확하고 많은 정보를 현장



진준하

1987 서강대학교 화학과(박사)
1976~ 한국원자력연구소
1989 호주원자력연구소(ANSTO) IAEA Fellowship(Tracer)
1990~ 국제원자력기구(IAEA) Expert(Tracer)
1991 한국원자력연구소 방사선응용 연구실장
1992~ 1996 한국원자력연구소 방사성추적자/응용계측 이용기술개발과 제책임자

Application of Radioisotope Tracer in Chemical Engineering Industry

한국원자력연구소(Joon-Ha Jin, Korea Atomic Energy Research Institute, P.O.Box 105 Yusong, Taejeon 305-600, Korea)

에서 쉽고 빠르게 얻을 수 있다. 또 대상물질 자체를 원자로에서 중성자 조사하여 방사화(activation) 시키거나, 대상물질과 유사한 동위원소표지화합물을 만들어 추적자로 사용하기 때문에 그 거동이 대상물질과 같거나 거의 일치한다.

뿐만 아니라 효율이 높은 방사선검출기를 사용하므로 아주 소량의 방사성동위원소로도 실험이 가능하며, 컴퓨터를 이용한 고속의 데이터 기록장치 등이 개발되어 고속으로 이동하는 물질도 추적할 수 있다. 특히 동위원소추적자기술을 이용하면 검사를 위해 산업시설의 가동을 중단하지 않고 정상가동상태에서 여러 가지 추적자 실험을 실시할 수 있다. 따라서 가동중단에 따른 막대한 경제적 손실을 걱정하지 않아도 될 뿐만 아니라, 다른 방법으로는 도저히 얻을 수 없는 시설가동 중의 제반 중요정보를 정확하게 알아 낼 수 있는 등 많은 장점이 있다.

이상에서 언급된 추적자기술은 개방 방사성동위원소를 이용하는 것으로 방사성동위원소가 대상 물질과 혼합되어 이동하는 것을 추적하는 기술이다. 넓은 의미의 추적자기술에는 밀봉선원을 이용하는 기술도 포함된다. 밀봉선원은 방사성동위원소를 소형 스텐레스 용기에 넣어 밀봉한 것으로 방사성물질이 외부로 확산되지 않아 사용 중에 오염의 우려가 없다는 것이 가장 큰 장점이며, 감마선의 투과력을 이용하여 증류탑 검사, 파이프 막힘 탐사 등에 사용된다.

산업현장에서 추적자로 사용되는 방사성동위원소의 양은 대부분의 경우 수십 mCi이하로 매우 적은 양을 사용하므로 적절한 절차에 따라 실험하면 산업시설 근무자는 물론 추적자실험을 직접 수행하는 사람도 방사선에 의한 피해를 입을 가능성이 거의 없다. 더구나 사용되는 방사성동위원소의 반감기가 수 시간 내지 수십 시간정도로 짧은 경우가 대부분이므로 어느 정도 시간이 경과하면 방사능이 소멸되어 없어지게 된다.

산업적 방사성추적자기술은 석유, 화학공학산업은 물론 시멘트, 자동차, 유리, 철강, 제지 등 거의 모든 산업분야에서 각종 생산시설에 대한 고장 진단이나 가동 조건의 최적화(optimization)를 도모하기 위한 시설 특성 파악 등을 위해 사용되고 있다. 각 산업의 특성에 따라 다양한 추적자기술이 개발되어 이용되고 있으나, 여기에서는 고분자산업과 직접적으로 관련되는 석유·화학공학산업에서 활용되는 주요 방사성동위원소추적자 기술을 소개하고자 한다.^{3,4}

2. 최적화를 위한 방사성동위원소추적자 기술

2.1 체재시간분포 측정기술

공정상의 모든 반응용기(vessel)들은 각각 고유의 기능을 가지고 있다. 어떤 반응용기가 정상적인 기능을 하

지 못하는 것은 설계가 잘못되었거나, 이상이 발생한 것으로 볼 수 있다. 이 경우에 용기 내에서 일어나는 현상을 파악하기 위해서 체재시간분포를 분석할 필요가 있다.

여러 종류의 용기들 중에서도 반응기에 대한 예가 가장 많다. 필요한 생성물을 얻기 위해서는 화학반응이 일어나는 반응기에 원료물질이 일정 시간이상 체류하여야 한다. 최대의 효율을 얻기 위해서는 최적의 체재시간분포를 얻을 수 있도록 반응기가 설계되어야 한다. 그러나 설계 혹은 제작상의 잘못이나 사용 중의 상태변화에 따라 체재시간분포가 최적조건이 아닌 상태에서 운전되는 경우가 있다. 이 경우 체류시간이 너무 짧으면 제대로 반응이 일어나지 않아 원하는 품질을 얻을 수 없고, 너무 길면 시설의 생산효율이 낮아질 뿐 아니라 에너지도 필요 없이 낭비된다. 따라서 생산시설을 효율적으로 가동하기 위해서는 평균체재시간 및 체재시간분포를 정확히 파악하여 최적화를 추진하여야 한다. 체재시간분포를 측정하는데는 방사성동위원소추적자 기술이 가장 적합한 것으로 알려져 있다.

방사성동위원소 추적자를 이용하여 체재시간분포를 측정하기 위해서는 Fig. 1에 보인 바와 같이 반응기 전후에 각각 방사선검출기를 설치하고, 상류에 방사성 추적자를 투입하여 각 검출기로부터 시간에 따른 방사선 계측치를 기록하여 input peak 및 output peak를 얻는다. 이 두 피크의 면적중심들 사이의 시간차이가 평균체재시간이 된다. 또 Perfect mixers in series model이나 Axial dispersion model 등 수학적 모델을 이용하여 Tank number나 Peclet number 등 체재시간분포와 혼합특성과 관련된 정보를 얻을 수 있다.³ 이러한 수치들은 공정을 진단하는데 뿐만 아니라 새로운 시스템을 설계하는데도 매우 중요한 정보가 된다.

2.2 유속측정기술

부적절한 유속으로 산업생산시설이 가동되면 원료의

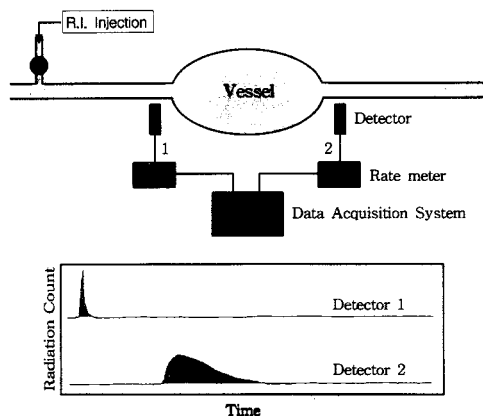


그림 1. Measurement of residence time distribution.

적정 혼합비를 얻을 수 없고, 원료 또는 에너지의 낭비를 초래한다. 따라서 정확한 유속을 유지하는 것은 생산원가 및 제품의 품질에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 경제적 기술적 중요성이 매우 크다. 일반적으로 산업시설에 장착된 유량계는 압력차나 프로펠러 회전수 등을 유속으로 환산하는 2차 유속측정법을 사용하고 있어 사용 중의 환경변화에 따라 그 환산인자가 변화될 가능성이 있으므로 주기적인 보정이 필요하다. 방사성동위원소추적자를 이용한 유속측정기술은 부피, 시간, 회석을 등을 이용하여 유량을 직접 측정하는 1차 유속측정법으로서, 이와 같이 시설에 장착된 유량계의 보정뿐 아니라, 펌프의 효율 측정, 공정상의 에너지 또는 물질 발란스 등 시설의 가동특성을 파악하는 데도 활용된다.

방사성동위원소를 이용한 유속측정기술은 간단하면서도 정확도가 높으며, 다른 방법으로는 불가능한 상태에서도 정확한 측정이 가능하기 때문에 여러 추적자기술들 중에서도 산업계의 수요가 가장 많은 기술 중 하나이다. 방사성동위원소를 이용한 유속측정법은 Transit Time Method, Continuous Dilution Method 및 Total Count Method 등 세 가지 방법이 있는데, 이들은 ISO 표준 측정법으로 채택되어 있으며,⁵ 현장의 측정환경 및 실험목적에 따라 적당한 방법을 선택하여 실행한다.

2.2.1 Transit Time Method⁶

세 가지 측정법 중에서 가장 간단하며 자주 사용되는 기술이다. Transit Time Method는 내경을 정확히 알고 있는 파이프 등과 같이 유체가 통과하는 임의의 두 측정 지점사이의 부피를 정확하게 알 수 있을 때 사용된다. Fig. 2에 보인 이 측정법의 개략도와 같이 파이프 등 용기 외부의 임의의 두 지점에 방사선계측기를 설치하고, 그 상류에서 동위원소추적자를 주입한다. 추적자가 이 두 지점을 통과하는 것이 방사선계측기들에 의해 차례로 검지되므로 두 지점사이를 이동하는데 소요된 시간을 측정할 수 있다. 두 측정지점사이의 부피를 측정된 시간으로 나누면 유속을 얻을 수 있다.

2.2.2 Continuous Dilution Method⁷

파이프 내에 침전물이 쌓여 있는 경우나 액체가 파이프 전체에 채워지지 않은 채 흐르는 경우, 또는 개방된 유로를 흐르는 경우 등에는 위의 방법을 사용할 수 없으므로 Continuous Dilution Method를 이용한다. Fig. 3에 보인 바와 같이 방사성동위원소가 들어 있는 용액을 일정한 유속으로 파이프에 주입하고, 그 하류에서 방사선 계측치가 일정한 값을 보일 때 소량의 시료를 채취한다. 방사선 계측기로 주입된 용액과 채취한 시료의 방사선을 계측하여, 방사성동위원소의 회석률을 얻고, 이를 이용하여 유량을 산출한다. 이 때 추적자 주입점과 시료 채취점사이의 거리를 충분히 확보하여 방사성동위원소가 충분히 혼합되어 시료 채취점의 단면에서의 농도분포가 균일하여야 한다.

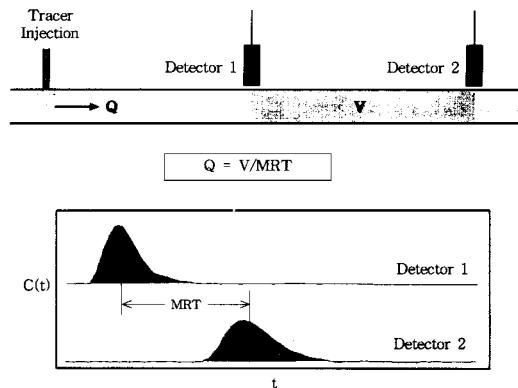


그림 2. Flow rate measurement using transit time method.

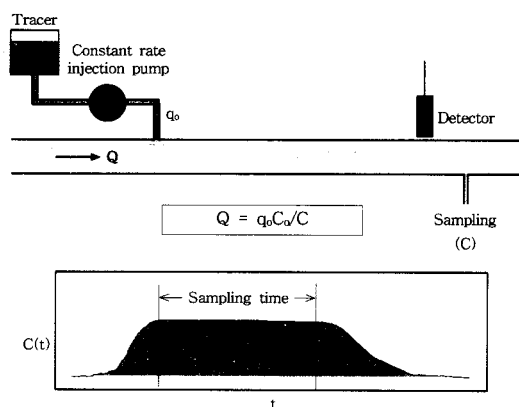


그림 3. Flow rate measurement using isotope dilution method.

2.2.3 Total Count Method

이 유속측정법은 Instantaneous Injection Method라고도 하며, 위의 Continuous Dilution Method의 변형이라고 할 수 있다. 일정량의 방사성동위원소를 파이프에 주입하고 적당한 거리를 두고 하류에 설치된 방사선 계측기로 그 위치를 통과하는 방사성동위원소로부터 방출되는 총 방사선 계측수를 측정한다. 이 총 방사선 계측수는 유속에 반비례하는 점을 이용하여 유속을 측정한다. 이 방법을 사용하면 현장에서의 실험은 간단한 편이나, 미리 실험실에서 현장과 동일한 파이프를 이용하여 방사선 계측효율을 측정해야 하며, 주입되는 동위원소의 양도 정확하게 알아야 한다.

2.3 Mass Balance

단순한 형태의 용기에서 담겨진 액체의 부피는 수위를 재는 여러 가지 일반적인 방법으로 측정이 가능하지만, 밀봉 방사성동위원소를 이용한 감마선 준위계(gamma level gauge)나 중성자 후방산란 계측기술 등으로도 간단히 측정할 수 있다.⁸ 그러나 용기가 복잡한 형태이거나 내부에 고체 침전물이 쌓여 있는 경우, 용기가 여러 개의 작은 부분으로 이루어져 있는 등 일반적인 방법으로는 부

피 또는 질량의 측정이 곤란한 경우에는 방사성동위원소 추적자 기술이 유용하게 이용된다. 추적자를 이용한 물질량의 측정에는 동위원소 회석률 측정 기술과 체제시간 측정 기술이 이용되는데, 실험 목적과 현장의 상황에 따라서 가지 측정법이 활용되고 있다.³

가장 흔히 사용되는 측정법은 동위원소희석법(Isotope dilution method)이다. 이 방법은 비방사능(동위원소 농도)과 부피를 정확히 쟀 방사성동위원소 용액(또는 고체 분말 등)을 대상물질에 투입하고 농도가 균일해질 때까지 충분히 혼합시킨 다음, 소량의 시료를 채취하여 방사선을 계측한다. 이 계측치와 투입된 용액(또는 고체 분말 등)의 계측치로부터 회석률을 얻어 대상물질의 양을 산출할 수 있다.

이 기술은 불규칙한 용기 속의 액체의 양이나 시스템을 순환하는 물질의 양, 또는 거품이 포함된 물질의 총량 등을 측정하는데 이용된다. 시스템 내에 어떤 물질의 양이 계속 증가되는 경우에는 회석률이 계속 증가될 것이므로, 추적자 투입 후 시간에 따라 회석률을 측정하면 그 물질량의 증가속도(혹은 생산속도)를 계속적으로 추적할 수 있다.

시스템 내를 통과하는 동안 유체의 양이 감소되는 경우에는 시스템 입구 및 출구에서 측정한 방사선 계측치로부터 그 유체의 감소율을 측정할 수 있다. 이 방법은 Pulse integral method라 하며, 증류탑의 타르 측정, 필터나 사이클론의 분리율 측정, 증발율 측정 등에 이용될 뿐 아니라 재순환 공정의 재순환율 측정에도 이용될 수 있다.

어떤 시스템을 통과하는 유체의 유속을 정확히 알고 있거나 쟀 수 있으면, 그 시스템 내에 존재하는 유체의 용적을 쉽게 알아 낼 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 시스템 입구 및 출구에서 측정한 방사선 계측치로부터 시스템을 통과하는 유체의 평균체재시간을 측정할 수 있다. 시스템 내에 존재하는 유체의 용적은 유속과 평균체재시간의 곱이다. 이 방법을 Stimulus response method라고 하며, 흡착탑(packed absorption column)의 유체체류시간 측정, 촉매 분해 반응기 내의 고체촉매 양의 측정 등에 이용된다.

2.4 혼합도 측정기술

혼합공정은 시간과 에너지가 많이 소요되는 경우가 많다. 혼합시간이 너무 짧으면 원하는 혼합도를 얻을 수 없고, 너무 길면 혼합기의 처리능력이 저하될 뿐 아니라 생산원가도 상승된다. 특히 고체 원료가 포함된 경우에는 적정 혼합시간의 선정은 기술적 경제적인 면에서 더욱 중요하다. 혼합 진행 시간에 따라 여러 개의 시료를 채취하여 특정 성분의 양을 분석하는 것이 일반적인 혼합도 측정법이다. 이 경우, 많은 시료의 성분을 분석하여야 하므로 많은 시간과 노력이 필요하며, 시료 채취과정에서 혼합기의 상태가 정상상태와 다르므로 정확한 정보를 얻기

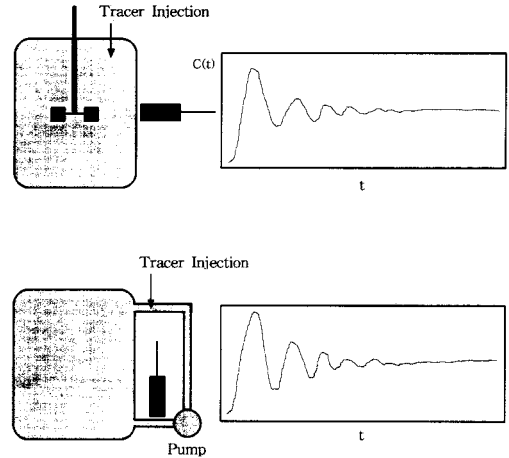


그림 4. Mixing time measurement of mixers.

어렵다. 그러나 방사성동위원소 추적자를 사용하면 짧은 시간 내에 적은 비용으로 혼합의 최적화에 필요한 정보를 얻을 수 있다.

혼합될 성분 중 하나를 원자로에 넣어 방사화 시키거나, 방사성동위원소로 표지하여 혼합기에 넣고, 혼합기 외부에 설치된 방사선검출기로 주입된 추적자의 거동을 관찰함으로써 혼합 진행상황을 관찰할 수 있다. 이 방법은 Fig. 4에 보인 바와 같이 batch 혼합이나 펌프 혼합에 이용될 수 있다. 고분자와 같은 고체 재료의 혼합인 경우에는 시간에 따라 시료를 채취하여 간단한 방사선 계측만으로 혼합도를 추적할 수도 있고, 방사선에 의한 사진 필름의 감광작용을 이용한 autoradiography를 이용하기도 한다.

3. 고장 진단을 위한 동위원소추적자 기술

3.1 누설 탐사기술

생산공정에서 누설이 발생되면 제품에 이물질이 혼입되어 원하는 품질을 얻을 수 없을 뿐 아니라 원료와 에너지의 낭비를 초래한다. 방사성추적자 기술을 사용하면 시설 가동 중에 검사를 실시하여 수리에 필요한 정보를 얻을 수 있으므로 수리를 위한 시설 가동 중단시간을 크게 감소시킬 수 있어 막대한 경제적인 이득을 얻을 수 있다. 누설을 탐지하는 데는 유속 측정에 의한 방법, 체제시간 분포 측정에 의한 방법 외에도 여러 가지 방법이 이용될 수 있다.

지하에 매립된 송유관에 누설이 발생되면 자원의 손실 뿐 아니라, 자연환경을 훼손도 심각하나 일반적인 방법으로 누설 위치를 찾아내기는 쉽지 않다. 방사성동위원소를 이용한 여러 방법 중 가장 간단한 것은 Fig. 5에 보인 바

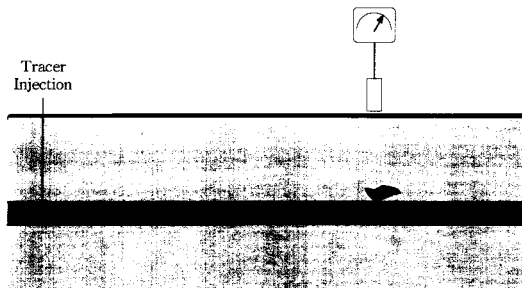


그림 5. Leakage detection of a buried pipeline.

와 같이 관 내에 동위원소가 희석된 용액을 주입하고 압력을 가하여 흐르게 한 다음, 방사선검출기로 누설된 방사능을 지표에서 탐지하여 누설 위치를 찾는 방법이다. 그러나 관이 너무 깊이 묻혀있는 경우에는 지표에서 방사선이 검출되지 않아 이 방법을 사용할 수 없다. 이런 경우에는 관 내부로 방사선을 검출하여 기록할 수 있는 장치(Smart Pig)를 통과시켜 누설위치를 찾기도 한다. 이러한 방법들 외에도 다양한 현장 상황에 따라 누설을 탐지할 수 있는 추적자기술이 개발되어 있다.

산업시설에서 누설이 가장 자주 발생하는 곳이 열교환기이다. 열교환기에서의 누설은 Fig. 6에 보인 바와 같이 shell side 혹은 pipe side 중에서 압력이 높은 쪽의 입력 라인에 추적자를 주입하여 저압 쪽으로 새어나온 추적자를 방사선검출기로 탐지하여 누설 여부와 대략적인 누설 양을 진단할 수 있다.

3.2 증류탑 검사기술

석유 및 화학 플랜트에 설치되어 있는 증류탑에 이상이 생기면 제품의 품질에 이상이 발생하는 것은 물론이고, 전체플랜트의 효율에도 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 조기에 그 원인을 파악하고 적절한 대책을 강구해야 한다. 검사를 위해 시설 가동을 중지하는 것은 막대한 경제적 손실을 가져오므로 가동 중에 검사가 실시될 수 있어야 한다. 방사성동위원소를 이용한 검사기술은 증류탑 외부에서 감마선의 투과력을 이용하여 검사하므로 시설 가동 중에 간단하게 이상이 있는 위치와 원인을 파악해 낼 수 있어, 여러 추적자기술들 중에서도 가장 자주 사용되고 있는 기술이다.⁴

증류탑 검사에는 Co-60이나 Cs-137과 같이 감마선을 방출하는 방사성동위원소 밀봉선원을 이용한다. 이 선원을 Fig. 7에 보인 바와 같이 증류탑의 한쪽에 매달고, 반대편에 방사선검출기를 같은 높이로 매달아서 증류탑을 통과한 방사선을 계측한다. 이 방사선계측치는 선원과 검출기사이에서 존재하는 물질의 두께 및 밀도에 반비례한다. 양측을 동시에 일정 거리 만큼씩 이동하면서 높이에 따라 측정된 방사선계측치로부터 증류탑의 밀도구배를 얻을 수 있다. 이를 그 증류탑의 설계도면이나 정상상태일 때

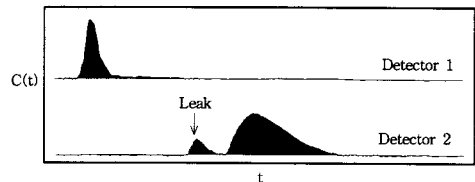
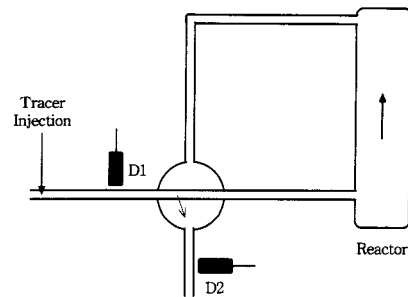


그림 6. Leakage detection in a heat exchanger.

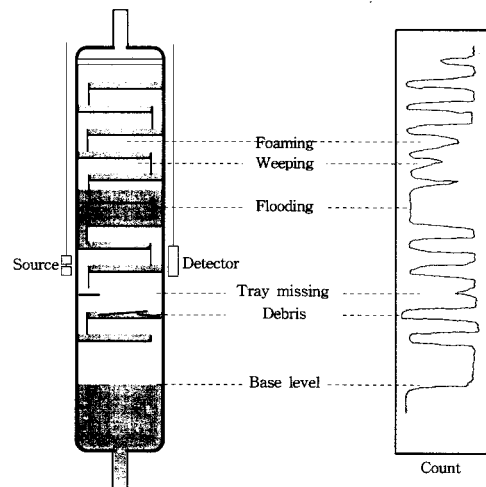


그림 7. Gamma-ray absorption scan of a distillation column.

얻은 밀도구배와 비교하면 고장 부위 및 원인을 알아낼 수 있다. 이 방법으로 알아 낼 수 있는 증류탑 이상의 종류는 tray missing, flooding, foaming, weeping 등이며, 내부 구조물의 위치 및 액면의 위치 등도 측정할 수 있다.

3.3 부식 및 침적을 탐사기술

파이프 내부에 고체물질이나 왁스, 타르 등이 쌓이면 관의 이송능력이 저하되어 공정에 지장을 초래하고 펌프에 과도한 부하를 주게된다. 또 파이프 내부가 부식되면 누설이 발생되어 원료나 생산품이 손실될 수 있으며, 안전사고의 위험도 높아진다. 감마선 투과법을 사용하면 시

설가동 중에도 파이프의 상태를 검사할 수 있다.

적당한 세기의 감마선원과 방사선검출기를 파이프의 양측에 일정거리가 유지되도록 프레임에 이용하여 지름 방향으로 배치하고, 이를 움직여 가면서 투과한 방사선을 계측한다. 침적물이 쌓여 있으면 계측수가 감소되고, 부식 또는 마모가 발생된 부위에서는 계측치가 증가되므로 이를 표준 파이프에서의 계측치와 비교함으로써 문제점이 있는 부위의 위치와 상태를 알아낼 수 있다.

4. 추적자기술의 현황

선진국에서는 수십년 전부터 방사성동위원소추적자 기술이 연구 개발되어 왔으며, 그 결과의 산업적 이용이 활발하게 추진되어 석유화학 산업은 물론 여러 장치산업 분야의 기술 발전에 크게 기여하였다. 이들 나라에서는 현재 많은 기술이 실용화되어 추적자기술 전문팀 또는 용역 회사에 의해 각종 실험이 수행되고 있다.

이 기술을 사용하기 위해서는 실험에 방사성동위원소를 사용해야 하므로 방사선 관련 인허가가 필요하고, 방사성동위원소 취급 면허 및 방사성동위원소는 물론 추적자기술에 대한 전문지식을 가진 전문가가 필요하다. 따라서, 가끔씩 이 기술을 필요로 하는 각 업체가 직접 추적자 실험을 수행하기는 어려울 뿐 아니라 경제적이지도 못하다. 이러한 이유로 선진국에서는 추적자기술 용역회사가 산업체에 기술 서비스를 제공하고 있고, 시장규모가 크지 않은 개도국에서는 국가 원자력연구기관이 이 기술을 확보하여 필요로 하는 산업체에 기술을 지원하고 있다.

우리 나라에서는 십여년 전에 국제원자력기구(IAEA)의 전문가 지원을 받아 시멘트 생산시설에서 실시한 실험이 국내 최초의 산업적 이용 사례이다. 그 후 한국원자력 연구소에 추적자 연구그룹이 형성되어 추적자 관련 연구 개발을 수행해 왔으며, 그 결과 개발된 실험장비와 실험 경험을 활용하여 지금은 산업계에서 요청이 있는 경우 대부분의 기술을 지원할 수 있는 상태에 있다. 그동안 추적자그룹이 수행한 국내 추적자기술의 대표적인 산업적 이용 사례는 다음과 같다.

- 시멘트플랜트 precalcinator 및 rotary kiln에서의 시멘트원료 체재시간분포 측정

- 용접봉 피복재의 재료인 20여가지 고체 원료를 혼합하는 혼합기의 최적 혼합시간 측정

- 화학플랜트에서 고온(600 °C), 고속(300 km/h)의 기체 유속을 20 m 파이프 구간에서 측정¹⁰

- 전자선을 이용한 배연(flue gas) 처리시설 반응기의 효율평가를 위한 체재시간분포 측정¹¹

- 정수장 최적화 연구를 위해 정수장 모형에서 물 및 flock의 거동을 추적하는 실험 수행¹²

- 파이프 내의 유속을 측정하여 플랜트에 설치되어 있는 기체 및 액체 유량계를 보정

- 증류탑 검사장치를 설계 제작하여 수회에 걸쳐 석유 화학공장의 증류탑을 검사

- 외국 기술팀과 협력으로 정유공장 크래커 성능평가를 위한 대규모 추적자실험 실시

- 오일 소모와의 상관관계 규명을 위해 두 피스톤 링의 회전운동 동시추적기술 개발¹³

- Shim, Cam 등 엔진부품 마모도의 엔진가동 중 측정기술 개발

- 우물의 지하수 교환량 및 흐름 방향 측정

우리 나라에도 석유·화학공학산업을 비롯해 많은 장치산업이 발달해 있어 이 기술의 잠재적 수요는 상당히 크다. 현재까지는 관련 인력이 충분치 못해 산업계에 대한 기술 홍보도 부족하였던 면도 있고, 우리의 장치산업이 시설의 설계 제작은 물론 운전 및 고장 진단과 수리까지 외국의 기술에 의존하는 경우가 많아 이 추적자기술의 장점과 필요성을 제대로 인식하지 못하고 있었다. 그러나 최근 추적자기술의 이용사례와 효용성이 산업계에 알려지면서 기술지원 요청이 대폭 증가되고 있다.

5. 결 론

방사성동위원소추적자 기술을 활용하면 다른 방법으로는 얻기 어려운 생산시설의 성능 또는 고장과 관련된 중요한 정보를 얻을 수 있다. 이 정보는 그 시설의 가동조건을 최적화 하거나 고장부위의 수리계획을 수립함으로써 수리기간을 최소화하는데 긴요하게 이용되어 시설 운영에 막대한 경제적, 기술적 이익을 줄 수 있다.

여러 산업분야 중에서도 석유 및 화학공학산업 분야에서의 추적자기술 이용이 가장 많으며, 그만큼 추적자기술로 얻을 수 있는 경제적, 기술적 이득도 크고 다양하다. 석유 및 화학 플랜트의 운전 및 유지보수 기술의 향상은 물론, 플랜트 설계 및 건설기술의 발전을 통한 기술자립을 이룩하기 위해서는 방사성동위원소추적자를 이용한 진단기술이 적극적으로 활용되어야 할 것이다.

감사의 글: 본 방사성동위원소추적자 기술 관련 연구는 과학기술부의 원자력연구 개발사업의 일환으로 수행되고 있음.

참 고 문 헌

1. R. J. Woods and A. K. Pikaev, "Applied Radiation Chemis-

- try: Radiation Processing", John Wiley & Sons, Inc., 1994.
2. G. Friedlander, J. W. Kennedy, and J. M. Miller, "Nuclear and Radiochemistry", 2nd ed., ed. by Wiley International, John Wiley & Sons, Inc., 1964.
3. "Guidebook on Radioisotope Tracers in Industry", IAEA Technical Report Series No. 316, International Atomic Energy Agency, 1990.
4. "Radioisotope Techniques for Problem Solving in Industrial Process Plants", ed. by J. S. Charlton, Leonard Hill, 1986.
5. "Methods for Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits, Using Tracers", ISO 2975/ I -1974.
6. ISO 2975/VII-1977, ISO 4053/IV-1978.
7. ISO 2975/III-1977.
8. S. R. Zsa, "Nuclear Measurements in Industry", Elsevier, 1989.
9. J. K. Kim, et al., "Studies on Industrial Application of Radioactive Tracer", KAERI/RR-1105/91, Korea Atomic Energy Research Institute, 1992.
10. J. H. Jin, et al., "Studies on Application of Radiation and Radioisotopes", KAERI/RR-1509/94, Korea Atomic Energy Research Institute, 1995.
11. J. H. Jin, M. J. Lee, S. H. Jung, and Y. C. Nho, IAEA-TECDOC-1023, 483 (1997).
12. M. J. Lee, S. H. Jung, and J. H. Jin, "Optimization of Water Treatment Facility using Radioisotope Tracer", KAERI/TR-844/97, 1997.
13. B. S. Min, J. S. Kim, D. Y. Oh, J. K. Choi, and J. H. Jin, "Dynamic Characteristics of Oil Consumption-Relationship between the Instantaneous Oil Consumption and the Location of Piston Ring Gap", International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, San Francisco, 1998.