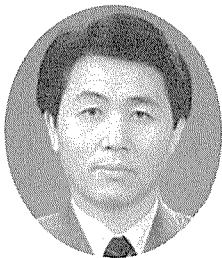


방사선가공기술의 산업적 이용



진 준 하

한국원자력연구소 책임연구원

원자력기술이 발전함에 따라 원자료를 이용하여 대량의 방사성동위원소를 생산할 수 있게 되었다. 여러가지 방사성동위원소중 산업적으로 가장 많이 이용되는 것은 코발트-60(Co-60)으로 Co-59를 원자료에 넣어 중성자와 반응시켜 만든다. 이것은 평균 1.25MeV정도의 높은 에너지의 감마선을 방출하며, 반감기(방사선의 세기가 반으로 감소되는데 소요되는 시간)도 5.26년으로 비교적 길다. 또 반감기가 30년인 세슘-137(Cs-137)도 감마선원으로 사용되고 있으나 감마선의 에너지가 낮고, 까다로운 핵연료재처리과정을 통해 분리하여 생산해야 하므로 그다지 많이 사용되지는 않는다.

산업적으로 이용되는 방사선을 얻는 데는 전자선가속기도 많이 사용되고 있다. 전자선가속기는 전자를 높은 속도를 가지도록 가속시켜 물체에 조사시킬 수 있는 장치이다. 최근에는 X-선발생장치의 사용도 증가되고 있다.

이러한 방사선을 조사할 때 물질내에서 일어나는 화학반응은 방사선의 종류에 관계없이 비슷한 반응을 일어나게 한다. 그러나 물질내의 투과력은 방사선의 종류에 따라 현저히 차이가 나므로 용도에 적합한 방사선원을 선택하여 사용하여야 한다. 즉 두꺼운 물질에 방사선을 고루 조사하고자 할 때는 감마선이나 X-선이 적당하며, 얇은 필름이나 표면에 방사선을 조사하고자 할 때는 전자선을 사용하는 것이 유리하다.

산업적으로 이용되고 있는 대부분의 화학공정은 반응을 진행시키기 위해 가열하여 일정한 온도를 유지시켜야 한다. 반면 열대신 방사선에너지를 이용하면 상온에서는 물론 저온이나 고온에서도 화학반응을 일으킬 수 있어 열반응공정에 의해서는 불가능하거나 어려운 제품도 만들어 낼 수가 있다. 또 방사선에너지는 열에너지보다 훨씬 높으므로 열반응에 의해서는 일어나지 않는 반응도 방사선을 이용하여 일으킬 수 있는 경우가 많다. 열반응을 원활하게 하기 위해 흔히 사용되는 반응개시제나 촉매등이 방사선반

응에서는 필요하지 않으므로 순수한 생성물을 얻을 수 있는 장점도 있다. 또 방사선량을, 방사선종류 및 에너지 등을 선택하므로서 원하는 반응속도로 원하는 부위에만 반응을 진행시킬 수 있을 뿐 아니라 방사선공정은 에너지가 대폭 절약되며 공해물질의 생성도 대폭 감소시킬 수 있다.

이러한 특징들 때문에 방사선은 화학, 생물학, 의학, 농학, 물리학 등의 기초 및 응용 연구에 널리 사용되어 왔고, 그 연구결과들은 산업적 생산공정에 많이 이용되고 있다.

방사선은 온도, 압력 등 반응조건을 전혀 바꾸지 않고도 이온, 라디칼 등을 발생시켜 반응을 진행시킬 수 있으므로 화학반응속도 측정, 반응메카니즘 규명 등 기초화학연구에 이용되고 있다.

방사선의 강력한 투과력과 세포를 파괴 또는 변형시킬 수 있는 특성은 인체의 X-선사진촬영에 의한 진단 및 암치료 등과 인공장기 등 각종 의료용품의 멸균이 가능할 뿐 아니라 동식물의 돌연변이를 일으켜 농작물, 화초 등 각종 동식물의 품종개량에도 이용되고 있다.

공업적으로는 방사선의 투과력을 이용하여 용접부위의 결함을 찾기 위한 비파괴 검사에 이용되고 있다. 또 종이나 철판 등의 두께를 측정하고 탱크내의 원료량을 측정하여 생산공정을 자동제어할 수도 있다.

방사선가공기술이 산업적으로 가장 활발하게 이용되는 분야는 고분자물질의 합성 및 개질, 의료용품의 멸균, 식품보존, 공해물질의 처리 등이다. 여기에 중요한 몇 가지 방사선가공기술들의 내용 및 특징 그리고 국내외 기술적 이용현황 등을 개략적으로 기술코자 한다.

1. 방사선멸균

의료용품의 멸균법에는 열멸균법, 화학멸균법, 방사선멸균법 등이 주로 사용되고 있다. 가열에 의한 멸균법은 프라스틱 등 열에 의해 변형되는 재료가 많아 적용 불가능한

것들이 많고, 대량의 에너지가 소모되는 단점이 있다. 에틸렌옥사이드가스를 사용하는 화학멸균법도 멸균도가 균일하지 못하고 습도에 의해 효과가 변하는 등 단점이 있으며 더구나 에틸렌옥사이드가 발암성물질인 관계로 사용규제가 매우 까다로워 멸균 비용이 증대됨에 따라 이용이 점점 감소되고 있다.

방사선멸균에는 대부분 Co-60감마선을 사용하고 있는데 이 감마선의 높은 투과력과 다른 방사선의 특성 때문에 여러가지 장점을 가지고 있다. 투과력이 높으므로 제품의 개별포장은 물론 수송용포장까지 완료된 상태에서 완벽하게 멸균시킬 수 있다. 따라서 생산공정이 매우 단순해지고 생산원가가 절감된다.

또 상온에서 멸균되므로 제품의 열손상 염려가 없다. 방사선멸균법은 연속적공정에 의해 대량멸균이 가능하여 멸균서비스를 전문으로 하는 기업이 있어 따로 멸균시설을 갖출 필요가 없다.

세계적으로는 50여개국에 200여개의 산업적 멸균시설이 가동되고 있다. 우리나라에서도 1975년 원자력연구소에 최초의 방사선멸균시설이 설치되어 산업체에 멸균 지원업무를 수행함으로써 방사선멸균법이 국내에도 도입되었다. 1988년에는 민간업체가 탄생되어 방사선조사업무를 수행하고 있다. 현재 약 120여개 의료문제로 업체에서 40여품목 500여톤의 의료제품을 방사선멸균시키고 있다.

2. 내열성 전선피복재

TV 등 각종 전자제품이나 자동차, 항공기 등에 사용되는 전선의 절연피복재는 PE, PVC, EPDM 및 EPR 등으로 만들어 지고 있다. 좋은 피복재가 되기 위해서는 내열성, 내약품성, 내마모성 및 내충격성등이 높아야 한다.

일반적인 전선피복재는 납땀할 때 피복재가 녹아 수축되고, 내마모성도 좋지 않아서 사용중에 손상 또는 파손될 우려가 있으며, 사용중 온도가 높아지면 쉽게 녹아내려 도

선이 노출되므로 합선등 중대한 고장의 원인이 되기도 한다.

이들 고분자를 가교시켜주면 이러한 성질들이 대폭 개선된다. 전선피복재의 가교방법에는 과산화물을 가교제로 사용하는 화학가교법과 전자선가속기를 이용한 방사선 가교법이 있다. 화학가교법에는 보통 180°C이하에서 분해되는 과산화물가교제를 사용하는 데 전선피복재의 사출과정에서 가교반응이 일어나게 되어 공정제어가 까다롭다. 따라서 요즘은 특히 굵기가 가는 전선의 경우 방사선가교법이 많이 사용되고 있다.

선형구조를 가진 고분자물질에 방사선을 조사하면 반응성이 큰 라디칼이 생성된다. 이 라디칼이 분자와 분자사이에 결합을 일으켜 그물모양의 거대분자구조를 갖도록 해준다. 이러한 방사선가교에 의해 내열성이 40~50°C가량 높아지며 내약품성 및 내마모성도 향상된다.

이 방사선가교법은 상온에서 조사되므로 열에 의한 재료손상이 일어나지 않으며, 화학가교법에 비해 에너지가 대폭 절약된다. 뿐만 아니라 제조공정이 단순해 지며 균일한 가교제품을 얻을 수 있고, 공해물질의 발생도 대폭 감소된다.

일본의 경우 50개 이상의 전자선가속기가 가교전선생산을 위해 가동되고 있으며 미국, 독일 등 여러 선진국에서도 이 방법이 활발히 이용되고 있다. 우리나라에서도 1985년에 금성전선(주)가 3기의 전자선가속기를 도입하여 가교전선을 생산하기 시작했다. 그 후 4개의 다른 전선제조업체에서도 이 기술을 도입하여 가교전선을 생산하고 있다.

3. 열수축성 튜브

열을 가하면 크기가 반이하로 수축되는 고분자재료를 방사선을 이용하여 만들 수 있다. PE 등 고분자물질에 방사선을 조사하면 분자사이에 가교결합이 형성되어 그물모양의 고분자가 형성된다. 이를 그 고분자의 용융온도 이상으로 가열한 후 늘린 다음 그

대로 급히 냉각시켜 열수축성튜브를 제조한다. 일반 선형고분자는 용융상태에서 연신시키면 연신력을 제거하더라도 원래의 상태로 돌아가지 않는다. 그러나 가교된 고분자는 연신력을 제거하면 원래의 상태로 돌아갈려는 성질이 있다. 따라서 열수축성튜브를 다시 용접이상으로 가열하면 연신전의 원형으로 돌아가려는 탄성기억효과를 나타낸다.

열수축성튜브는 전선 및 케이블의 연결부위를 보호하기 위한 절연피복재로서 뿐만 아니라 배관 용접부의 부식방지 및 식품포장 등 여러 분야에 이용되고 있다.

일본에서는 10여개의 전자선가속기가 열수축성튜브 생산을 위해 가동되고 있고, 우리나라에서도 금성전선(주) 등에서 이 제품을 생산하고 있다.

4. 발포수지

방사선에 의한 발포수지 제조방법은 우선 PE 등 고분자재료에 가열하면 위체가 발생하는 발포제를 혼합하여 평판을 만든다. 여기에 적당량의 방사선을 조사하여 가교시킨 후 가열하여 발포시키면 발포수지가 얻어진다.

온도를 올려 가교반응을 일으키는 화학가교법은 가교와 발포가 동시에 일어나기 때문에 온도제어가 매우 어렵다. 반면 방사선법은 가교와 발포공정이 별도로기 때문에 발포온도의 제어가 용이하고, 생성된 기포도 독립적이어서 충격흡수성 및 평활성이 우수한 특징을 갖고 있다.

PE, PP 등의 발포제품은 자동차의 내장재, 쿠션 등 완충재, 단열 및 방음을 위한 건축재, 포장재 등에 사용되고 있다. 일본에는 14개의 가속기가 발포수지 제조를 위해 가동되고 있으며, 우리나라에도 2대가 이를 위해 가동되고 있다.

5. 불소수지 분말

불소수지는 내열성이 매우 높으며 낮은

온도에서도 그 물리적 강도가 유지될 뿐만 아니라 내약품성이 우수하다. 또 수분을 흡수하지 않으며 유효성이 좋아 다양한 용도에 사용되고 있다. 그러나 이 재료는 성형성이 좋지 않아 불소수지 덩어리를 깎아서 가공하게 되므로 많은 폐기물(scrap)이 발생된다.

이러한 폐기물도 미세한 분말상태로 만들면 제품의 유효특성을 높이기 위해 도료, 잉크, 윤활유 및 이형제 등은 물론 각종 플라스틱이나 고무에도 첨가되는 등 그 이용도가 상당히 넓다.

그러나 불소수지의 물리적 특성상 일반적인 방법으로는 테프론을 분쇄하기 어렵다. 다행히 불소수지는 방사선에 의해 쉽게 분해반응을 일으키는 특성이 있어 적당량의 방사선을 조사시킨 후 분쇄하면 쉽게 미세한 분말을 얻을 수 있다. 우리나라에서도 이러한 기술이 산·연협력 연구로 개발되어 불소수지분말을 제조하고 있다.

6. 배연처리

석탄, 석유, 쓰레기 등을 태울 때 발생하는 배연은 공해물질인 아황산가스 및 질소산화물이 포함되어 있다. 이 공해물질들은 인체와 동식물에 해를 끼칠뿐 아니라, 금속을 부식시키고 산성비의 원인이 되기도 한다. 이러한 유해가스를 제거하기 위해 현재도 몇 가지 제거공정이 사용되고 있으나 대부분이 습식공정으로 운영비가 많이 들고 슬러지 등 2차오염을 발생시킬 뿐 아니라 아황산가스와 산화질소가스를 별개의 공정으로 처리해야 한다. 최근 20여년간의 연구결과 방사선을 이용한 배연처리 기술이 각광을 받고 있다.

배연에 방사선을 조사하면 아황산가스와 질소산화물이 산화되어 황산과 질산으로 변환된다. 이 생성물들은 안개상태로 부유하기 때문에 전기집진기로 제거할 수 있으나 방사선조사전에 미리 약간의 암모니아를 배연에 섞어주면 황산암모늄염 및 질소암모늄염

으로 변환되어 더욱 용이하게 분리제거시킬 수 있다. 더구나 이 염들은 유안 및 질소 비료성분으로 재활용이 가능하다.

미국, 일본, 독일 등 선진국에서는 20여년 전부터 연구되어 왔으며, 독일에 1000m³/h, 폴란드에 20,000³/h, 일본에 1,000³/h 및 15,000³/h 규모의 Pilot Plant가 설치되어 운영되고 있다. 또 IAEA가 주관이 되어 약 2천만 원을 투입하여 폴란드에 약 300,000³/h 규모의 본격적인 처리시설을 화력발전소에 시범적으로 설치할 예정이다. 우리나라도 이 사업에 참여하고 있으며, 삼성중공업 중앙연구소에서 이와 관련된 연구를 원자력연구소와 협력하여 추진 중이다.

7. 하수처리

산업폐수에 방사선을 조사하여 유해한 유기물을 파괴시키고, 하수상층액을 조사하여 살균 및 유기물을 분해시킨 후 중수로 재활용할 수 있게 하거나, 미생물에 오염된 폐수를 방사선멸균시켜 방류할 수 있게 한다.

방사선을 또 하수침적물, 분뇨등에 조사하여 대장균 등 병원성균을 멸균시킨 후 발효시켜 퇴비로 활용할 수도 있다. 소량의 방사선만 조사해도 대장균은 쉽게 제거되며, 발효시켜 퇴비화하는데 소요되는 시간도 1/3~1/4로 단축된다. 이 퇴비는 산성토양의 중화 및 농작물의 비료로 사용될 뿐만 아니라 반추동물 또는 어류의 사료로서 이용가능한 것으로 알려 졌다.

8. 기 타

방사선가공기술이 산업적으로 이용되는 분야는 이들의외에도 매우 많이 있다.

특히 고분자산업분야에서 타이어고무의 가교, 천연고무수지 가황, 복합재, 제조, 표면도장경화 등 매우 다양하고, 상수처리, 해충구제 등 환경분야에서도 이용도가 넓다. 현재 세계적으로 공업화된 방사선이용기술을 열거하면 표1과 같다.

표 1. 공업화되고 있는 방서선 이용기술

이 용 예	실용화된 나라	선 원
• 전선피복재의 가교	일본, 서독, 미국, 영국, 소련, 유고, 브라질, 한국	가속기
• 발포 폴리에틸렌	일본, 미국, 오스트리아, 한국	—
• 열수축성 Tube, Sheet	일본, 미국, 헝가리, 영국, 한국	—
• 목재프라스틱 복합재	미국	Co-60
• 아크릴산 그라프트 폴리에틸렌		
- AL Coating 재	불란서	가속기
- 전지용 격막	일본, 중국	〃
• 표면가공 처리		
- 목 재	미국, 불란서	〃
- 기 와	일본	〃
- 석고타일	일본	〃
- 강 판	일본	〃
- Floppy Disk	일본	〃
- 인쇄물 도장	미국, 일본, 한국	〃
- 종 이	미국	〃
- 방습필름	일본	〃
- Printed Circuit Board	일본	〃
- Precoated Steel Coil	일본	〃
- Thermo-sensitive Paper	일본	〃
- PSA Film	일본	〃
• 계면활성제	소련	Co-60
• 접착성 절연테-프	소련	〃
• Teflon의 분해	일본, 미국, 한국	〃
• 고분자 응집제	미국	〃
• 수분흡수제	미국	가속기
• 탈취용 섬유재료	일본	〃
• 타이어용 고무의 가교	미국, 일본, 불란서, 한국	〃
• 탄화규소 섬유	일본	〃
• 문화재의 보존	불란서, 이집트	Co-60
• 천연고무 라텍스 개질	일본	〃
• 의료용품의 멸균	미국, 일본, 불란서, 한국	〃
• 식품조사	미국, 불란서, 일본, 한국	〃