



# 고성능 방사선 고분자 차단막 기술동향

이기쁨·박성은·김인우·정광운·이흥기\*·나창운†

전북대학교 고분자나노공학과,

\*우석대학교 수소연료전지 부품 및 응용기술 지역혁신센터

접수일(2011년 4월 12일), 수정일(2011년 4월 21일), 게재확정일(2011년 4월 27일)

## Trends of Technologies for High Performance Polymer Barriers against Radiation

Gi-Bbeum Lee, Sungeun Park, Inwoo Kim, Kwang-un Jeong, Hong Ki Lee\*, and Changwoon Nah†

Department of Polymer-Nano Science and Technology, Chonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do 561-756, Republic of Korea

\*Fuel Cell Regional Innovation Center, Woosuk University, Chonbuk 565-701, Republic of Korea

(Received April 12, 2011, Revised April 21, 2011, Accepted April 27, 2011)

**요약** : 종래의 방사선 차단막은 납판이나 납 분말을 과량 배합하여 사용되고 있기 때문에 무거울 뿐만 아니라 인체중독의 위험성이 있다. 또한 작은 핀홀이 존재할 경우 방사선의 직접 투과 위험성이 있는 단점이 있다. 본 특집에서는 최근 선진국을 중심으로 연구가 활발한 다층구조의 고분자 방사선 차단막 기술에 대해 특허분석과 문헌고찰을 중심으로 소개한다. 특히 판상형 나노무기입자를 이용한 방사선 차단 및 내구성 향상에 대한 새로운 개념을 소개한다.

**ABSTRACT** : The conventional radiation barriers may show some disadvantages such as heavy weight and possibility of poisoning human bodies because they are composed of lead plates or resin plates containing large amounts of lead powders. Another disadvantage may be direct penetration of radiation through small pin holes. In this article, technologies of multi-layered polymer barriers against radiation, which has been extensively focused recently, will be introduced. A new concept of radiation protection as well as improving endurance with employing nano-layered inorganic particles is introduced.

*Keywords* : polymer barriers, radiation, x-rays

### I. 고분자 방사선 차단막 기술의 정의

종래의 방사선 차단막은 납판을 그대로 사용하거나 납 분말이나 아산화납을 과량 고분자 수지에 배합한 방사선 차단막을 사용하여왔다.<sup>1,2</sup> 이러한 차단막은 무겁고 또한 제조, 사용, 폐기처리 과정에서 납에 의한 인체중독이나 공해가 발생하기 쉽다. 또한 방사선 차단막의 두께가 얇기 때문에 제조과정에서 매우 작은 핀홀(pin-hole)의 발생으로 일부 방사선이 관통할 수 있는 우려가 있다. 따라서 Figure 1에 도식적으로 나타낸 바와 같이 고분자 방사선 차단막 기술은 방사선의 알파 및 베타입자와 감마파 및 중성자를 모두 효과적으로 차단할 수 있도록 하기위해서 다층구조의 고분자 차단막을 통하여 방사선을 차단하는 기술이다.

방사선 차단용 고분자 차단막은 얇은 수지시트가 다층으로 적층되어 있어 각 수지시트에 핀홀이 존재하더라도 다른 시트에서 차단할 수 있기 때문에 차단막을 직접 관통하는 방사선을 최대한 억제할 수 있다.

방사선 차단에 관련된 국내 기술수준은 90년대 중반 이후 꾸준한 연구를 진행하여, 현재 원자력의 안전관리 분야는 선진국의 수준에 육박하는 것으로 분석되고 있으나, 안전성을 확보하기 위한 방사선 차단소재 분야에서는 열세를 면치 못하고 있는 실정이다. 특히 Figure 2의 방사선 차단개념과 같이 방사선에 능동적으로 반응할 수 있고, 자체로도 차폐기능을 가지고, 내구성이 우수한 고분자 나노복합화 기술을 응용하기 위해서는 입자의 나노분말 제조기술, 복합화 기술, 복합체 성형기술 및 분말 표면처리 기술 등의 연구는 일부 산발적으로 수행되거나 수행실적이 거의 보고되지 않고 있다.<sup>3,7</sup> 따라서 방사선 차단용 고분자 차단막 소재기술에 대한 보다 적극적이

† 대표저자 E-mail: [cnah@jbnu.ac.kr](mailto:cnah@jbnu.ac.kr)

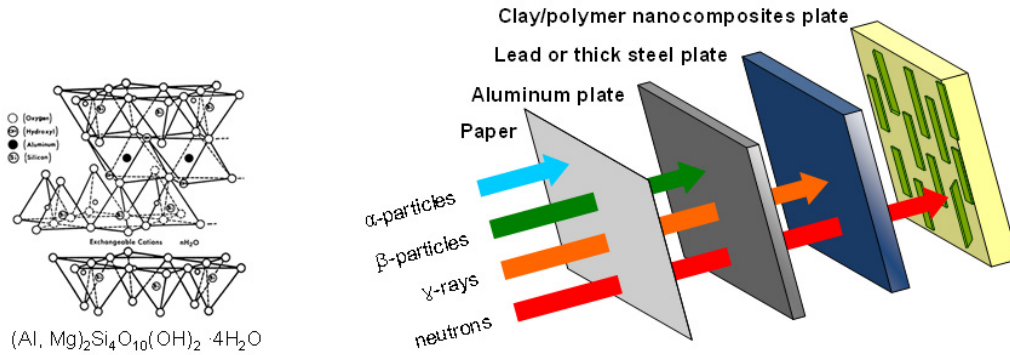


Figure 1. Schematic diagram of various plates for radiation barriers.

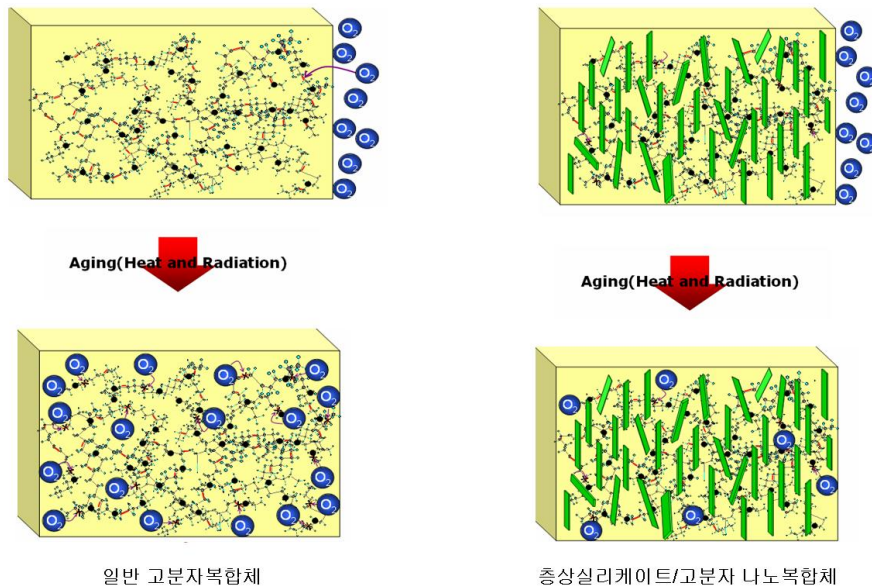


Figure 2. Proposed mechanism of enhanced aging resistance of polymer nanocomposites under radiation.<sup>3-7</sup>

고 능동적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## II. 기술동향

### 1. 해외기술동향

방사선 차단막에 대한 세계적인 연구추세는 남을 배합하는 일 없이 방사선 차폐성능을 확보함과 동시에 인장강도, 인열강도, 내절성, 난연성을 겸비하고, 더욱이 편향을 통한 방사선 관통이 억제된 방사선 차단막 및 그 제조방법을 확보하려는 연구가 진행되어 왔다. 특히 X선 발생장치, 원자력 관련기기, 방사성 물질 용기, 방사성 폐기물 용기 등을 구성하는 구조부재나 X선 발생장치를 조작하는 X선 기사, 의사, 연구자, 비파괴검사원, X선 진단이나 방사선치료를 받는 환자, 방사성 물질이나 방사성 폐기물을 취급 및 처리하는 작업자, 원자력 관

련기기의 사고처리 담당자 등이 엑스선(X), 알파선( $\alpha$ ), 베타선( $\beta$ ), 감마선( $\gamma$ ) 등의 방사선에 노출 될 수 있기 때문에 이를 차단할 수 있는 차단막 제조기술에 관한 연구가 미국, 일본 등에서 활발히 이루어지고 있다.<sup>8-13</sup>

연구개발 동향으로는 방사선 차단성 관능기, 나노입자, 층상 실리케이트 등의 고분자 매트릭스로의 배합 및 분산 등에 관한 연구는 보고된 바 없으나, 층상 실리케이트의 층간박리 기술 자체는 많은 연구기관에서 관심을 가지고 연구 중이다. 미국의 경우 1993년에 세계 최초로 미국 코넬 대학의 Giannelis 연구그룹에서 층상화합물에 폴리머 또는 모노머를 층간 삽입시켜 나노복합체를 제조하는 연구를 수행하였고, 계속해서 세라믹/폴리머 나노복합체의 합성 및 응용에 관한 중점적인 연구가 진행되고 있다.<sup>3</sup> 또한 나노복합체 관련 콘서시움 형태의 연구기관인 Edison Polymer Innovation Corporation(EPIC) 등에서 활발한 연구가 진행되고 있는데, 약 85개의 산업계, 학계,

연구소 등이 참여하여 상호 연구결과를 연결하여 다양한 분야의 상용화를 도모하고 있다. 일본의 경우는 과학기술청 산하 무기재료연구소에 무기/유기 복합체 연구회를 구성하고 매년 2~3회의 연구결과를 발표하여 관련연구의 전문화를 꾀하고 있다. 이러한 기술 선진국에서도 이제까지의 연구의 방향은 층상 광물을 분산시킨 복합체의 합성과 그의 특성을 평가하는 연구가 대부분이었으며, 나노복합재료의 실용화에 대한 본격적인 연구는 1990년대 이후부터 진행된 것으로 분석되고, 특히 나노복합소재의 상용화에 대한 실적은 아직까지도 초기단계에 머물러 있다.

2. 국내기술동향

현재 방사선 차폐 소재는 원자력 발전소의 전력케이블의 절연체에 가장 많이 이용되고 있다. 원자력 발전용 케이블의 절연체는 주로 열 및 방사선 등 열악한 환경에 노출되어있기 때문에 산소가 존재하는 환경에서 열 및 방사선에 의한 고분자 소재의 화학적/물리적 노화를 유발시킬 수 있다. 또한, 설계수명 기간 동안 (현재는 40년이나 60년으로 요구조건이 강화될 예정임) 원자력 발전의 정상운전 조건에서 발생하는 열과 방사선에 충분히 견딜 수 있어야 하며, 만약 원전사고가 있을 경우의 가혹한 조건에서도 케이블의 원래기능을 유지하여야 한다.

국내의 방사선 차폐 연구는 미국과 일본에 비해 다소 늦은 감은 있지만, 최근 활발한 연구가 진행되고 있다. 종래에는 대부분 방사선 사용시설 경계부분 즉, 벽이나 바닥, 천정, 출입문 등을 납 또는 콘크리트로 시공하여 감마선 또는 X-선을 적절히 차폐하고 있지만, 고에너지 베타방사선을 완벽히 차단하는 데는 한계가 있기 때문에 이에 대한 차단막 기술에 대한

소재개발 연구도 진행되고 있다.

III. 특허동향

1. 해외특허

1.1 미국

방사선 안전관리 분야에 있어 선도적인 역할을 하는 미국의 경우 ‘1976~2005년 사이의 미국내 등록된 안전관리 분야의 특허등록 동향을 살펴 본 결과, ’90년대 초반과 2000년대 초반에 증가추세를 보였다 (Figure 3). 내·외국인별 특허 점유율 분포를 살펴보면, 미국 소유권자가 보유한 특허 점유율이 74.5% (140건)로 외국 소유권자가 보유한 특허 점유율 25.5% (48건)에 비해 높게 나타났다.

1.2 일본

‘1976~2003년 기간 동안 일본에 출원된 안전관리 분야의 특허출원 동향을 살펴 본 결과, 1980년대 후반 이후 꾸준한 증가추세를 보이고 있다 (Figure 4). 일본인 출원인이 보유한 특허점유율이 92.9%(221건)로 외국출원인이 보유한 특허점유율 7.1%(17건)에 비해 월등히 높게 나타나고 있다.

1.3 유럽

‘1979~2003년 기간 동안 유럽에 출원된 안전관리 분야의 특허출원 동향을 살펴 본 결과, 구간 연도별로 10건 내외의 출원 건수를 나타내고 있다 (Figure 5). 유럽인의 특허출원 비율은 43.0%로 외국인의 출원건수보다 미세하게 낮은 것으로 나타났다.

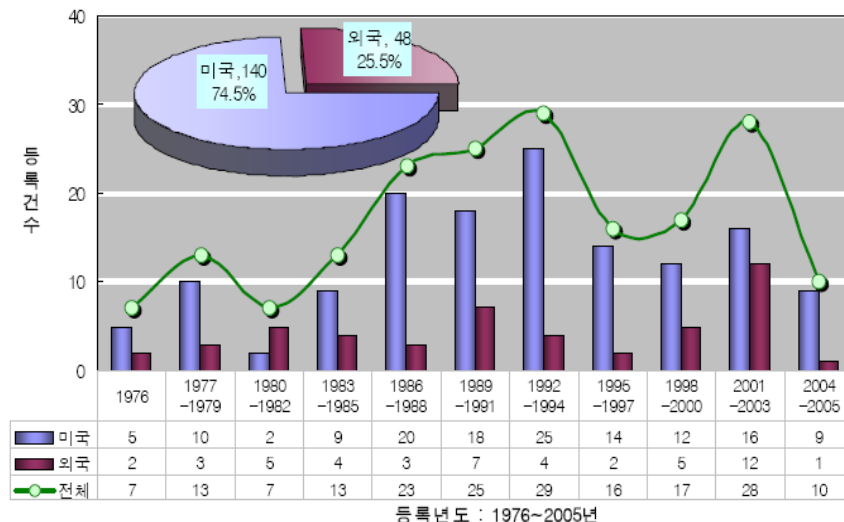


Figure 3. Patent trend of safety issues for radiation in USA.

2. 국내특허

국내 출원특허를 살펴보면 90년대 이후 안전관리 분야의 특허출원 증가를 보이고 있다 (Figure 6). 특히, 1982년까지는 한국인 특허출원 건수가 거의 없는 상황이고, '95~'97년 6건, '98~2000년 15건이 출원되어, 90년대 중반 이후 증가추세를 보이고 있다. 안전관리 분야의 내·외국인에 의한 특허 점유율 분포를 살펴보면, 한국인 출원건수 점유율은 47.5%로 외국출원인에 의한 특허점유율 52.5%보다 낮게 나타났다.

한국에 출원된 방사선 안전분야 특허는 총 385건으로 이중에 한국인에 의한 출원건수는 154건으로 약 40.0%를 차지하고

있고, 외국인 특허 출원 건수는 231건으로 60.0%를 차지하고 있다. 한국인의 특허출원이 비교적 뒤늦은 1980년대 후반부터 본격적으로 시작되었기 때문에 외국인 출원건수에 비해 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 방사선에 장시간 노출되면 인체 뿐만 아니라 자연 생태계에 심각한 영향을 미치게 된다. 즉, 체세포 및 유전자의 변형을 유발할 수 있고, 면역체계가 무너지고, 세포의 기능이 상실되고, 이로 인해 전혀 예측할 수 없는 악영향을 미칠 수 있다. 이러한 상황을 최대한 방지하기 위해서는 방사선 관리를 엄격하게 할 수 밖에 없기 때문에 관련 특허가 주종을 이루고 있다고 판단된다. 방사선 관련 작업자의 법적인 방사선 허용량은 연간 50밀리시버트인데 허용치의

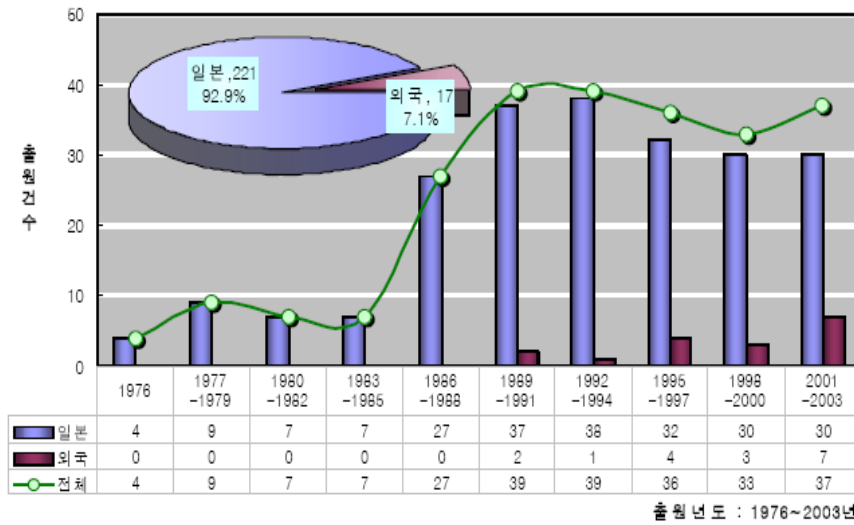


Figure 4. Patent trend of safety issues for radiation in Japan.

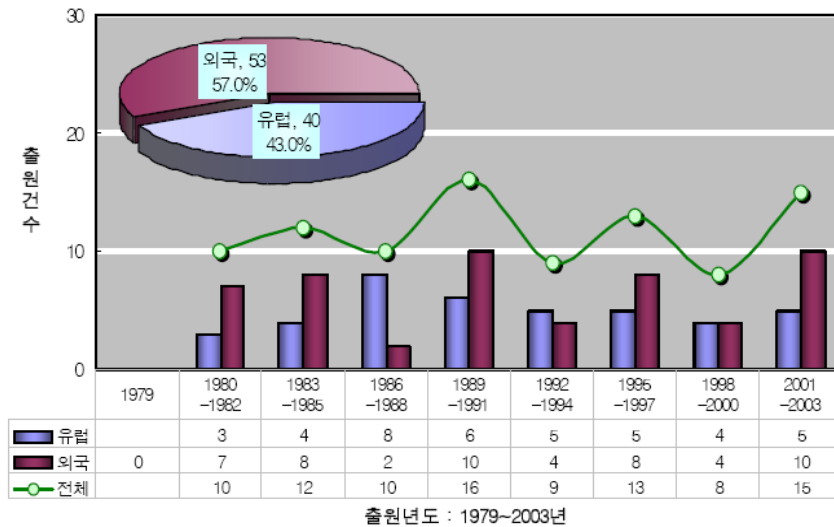


Figure 5. Patent trend of safety issues for radiation in Europe.

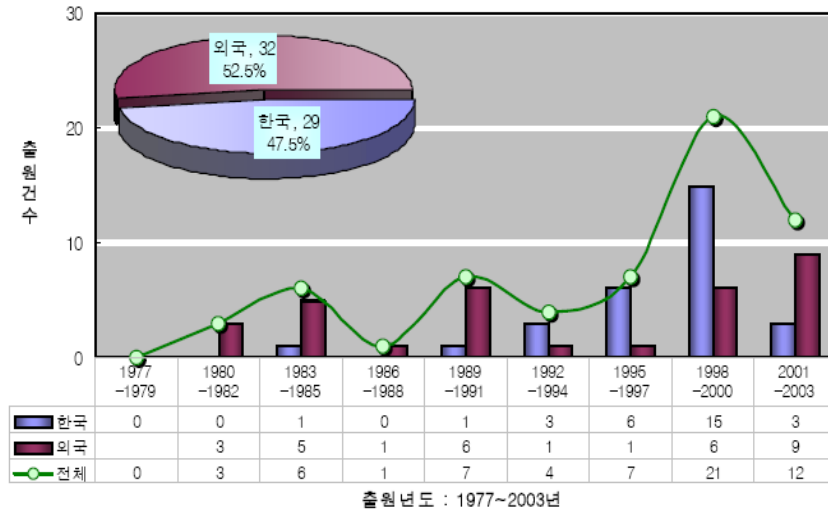


Figure 6. Patent trend of safety issues for radiation in Korea.

40%인 연간 20밀리시버트 이하로 관리하고 있다. 또한 주변 환경으로의 방사선 배출량을 연간 1밀리시버트 이하로 제한하고 있을 뿐만 아니라 실제로는 이보다 더 엄격한 연간 0.01밀리시버트 이하로 관리할 정도로 방사선에 대한 위험성은 매우 중대하게 인식되고 있다.

국내에서는 원자력 연구소와 한국 전력공사, 한국 수력원자력 주식회사를 중심으로 1994년 이후 특허활동이 크게 증가하고 있는 추세이다. 원자로 진단, 노심안전, 격납건물안전 등의 기술 분야에서는 과거에서부터 많은 특허를 출원하여 왔으나 원자력 관련 소재의 열화거동이나 소재내구성 그리고 사고시 종합대응 및 조사시험 등의 분야는 상대적으로 미미한 상황으로 분석되고 있다. 국내 특허 출원건수는 미국, 일본, 유럽에 비해 매우 낮은 상황이며, 주요 선진국 수준의 특허권 확보를 위한 노력을 하지 않을 경우 향후 막대한 기술료와 함께 선진 경쟁사로부터의 특허권 침해소송 등으로 인한 손해배상금 지불 우려 등이 예상되므로 후발주자인 한국은 주요 국가에서의 특허권 확보를 위한 노력을 게을리 하지 않아야 한다고 판단된다.

3. 방사선 차단관련 특허동향

방사선 차단과 관련된 특허 동향을 살펴보면 한국에 출원된 특허의 안전관리 방사선 차폐구조 분야는 미국이 73.3% (11건)로 가장 높게 나타났고, 주요 출원인으로는 웨스팅하우스가 60.0% (9건)으로 분석되었다. 한편 Table 1에 나타난 바와 같이 안전관리 방사선 차폐물질 분야에서 한국이 53.3% (8건)로 가장 높게 나타났고, 주요출원인으로는 원자력연구소가 13.3% (2건)를 차지하고 있다. 안전관리 사고 종합 대응분야는 국가별로는 한국이 54.8% (17건)로 과반수이상의 출원을 보였

Table 1. Patent Trend in Korea for Radiation Barriers Materials

연번	국가별동향			주요출원인동향			
	국적	출원건수	점유율	출원인	국적	출원건수	점유율
1	한국	8	53.3 %	한국원자력연구소	한국	2	13.3 %
2	독일	2	13.3 %	누러셀	프랑스	1	6.7 %
3	일본	2	13.3 %	메탈페레트 롱크 운트 케이쥬	독일	1	6.7 %
기 타		3	20.0 %	기 타		11	73.3 %
전 체		15	100 %	전 체		15	100 %

(분석기간 '77~2003년)

고, 주요출원인으로는 한국전력공사가 35.5% (11건)를 출원하였다.<sup>14,15</sup>

미국의 특허동향을 살펴보면 안전관리 방사선 차폐구조 분야는 미국이 66.7% (28건)로 절반이상의 특허를 출원하였고, 주요 소유권자로는 Hitachi가 9.2% (7건)를, Westinghouse가 7.9% (6건)를 차지하고 있다. 안전관리 방사선 차폐물질 분야도 미국이 66.7% (28건)로 절반이상의 특허를 등록하였고, 주요 소유권자로는 DOE가 7.1% (3건)를 등록하였다 (Table 2). 안전관리 사고 종합 대응분야 역시 미국이 91.4% (64건)로 대부분의 특허를 등록하였고, 주요 소유권자로는 Westinghouse가 22.9% (16건)을 등록하였다.

일본의 관련특허의 경우 안전관리 방사선 차폐구조 분야는 일본이 95.1% (58건)를 출원하여 대부분의 특허를 출원하였고, 주요 출원인으로는 Hitachi가 21.3% (13건)를, Toshiba가 21.3% (13건)를 출원하였다. 안전관리 방사선 차폐물질 분야

**Table 2. Patent Trend in USA for Radiation Barriers Materials**

연번	국가별동향			주요출원인동향			
	국적	등록건수	점유율	소유권자	국적	등록건수	점유율
1	미국	28	66.7 %	DOE	미국	3	7.1 %
2	일본	9	21.4 %	Meridian Research and Development	미국	2	4.8 %
3	독일	4	9.5 %	Sanoya Industries	미국	2	4.8 %
기 타				기 타		33	78.6 %
전 체		42	100 %	전 체		42	100 %

(분석기간: '76~2005년)

**Table 3. Patent Trend in Japan for Radiation Barriers Materials**

연번	국가별동향			주요출원인동향			
	국적	출원건수	점유율	출원인	국적	출원건수	점유율
1	일본	54	98.2 %	Power Reactor & Nuclear Fuel Dev	일본	10	18.2 %
2	프랑스	1	1.8 %	Mitsubishi Heavy Ind	일본	4	7.3 %
기 타				기 타		41	74.5 %
전 체		55	100 %	전 체		55	100 %

(분석기간: '76~2003년)

**Table 4. Patent Trend in Europe for Radiation Barriers Materials**

연번	국가별동향			주요출원인동향			
	국적	출원건수	점유율	출원인	국적	출원건수	점유율
1	일본	21	55.3 %	Cogema Logistics	프랑스	3	7.9 %
2	프랑스	9	23.7 %	Finex Handels-	미국	2	5.3 %
3	독일	3	7.9 %	Kobe Seiko Sho	일본	2	5.3 %
기타		5	13.2 %	기타		31	81.6 %
전체		38	100 %	전체		38	100 %

(분석기간: '79~2003년)

는 일본이 98.2% (54건)를 출원하여 대부분의 특허를 출원하였고, 주요 출원인으로는 Power Reactor & Nuclear Fuel Dev가 18.2% (10건)를 출원하였다 (Table 3). 안전관리 사고 종합 대응분야는 일본이 89.3% (109건)를 출원하여 대부분의 특허를 출원하였고, 주요 출원인으로는 Toshiba가 46.7% (57건)를 출

원하였다.

유럽특허의 경우, 안전관리 방사선 차폐구조 분야는 미국이 35.1% (13건)를 출원하였고, 그 뒤를 이어 독일 24.3%, 프랑스 13.5%등의 순이었으며, 주요 출원인으로는 Westinghouse가 21.6% (8건)를 출원하였다. 안전관리 방사선 차폐물질 분야는 일본이 55.3% (21건)를 출원하여 과반수의 특허를 출원하였고, 주요 출원인으로는 Cogema Logistics와 Finex Handels가 있다 (Table 4). 안전관리 사고 종합 대응분야는 미국이 61.1% (11건) 출원하여 과반수 이상을 출원하였고, 주요 출원인으로는 GE, Framatome 등이 있다.

#### 4. 특허분석요약

한국을 제외한 미국, 일본, 유럽에서 원자력 안전기술은 퇴조단계에 있다. 90년대 이후 원자력 안전분야 특허의 출원 및 등록이 감소하는 추세이며, 특히 유럽의 국가들과 미국의 경우 큰 폭으로 출원 및 등록이 감소하는 추세이다. '94년 이후 특허등록 감소(미국특허), '96년 이후 특허출원 감소(유럽특허), '90년 이후로 증가와 감소를 반복(일본특허)하는 추세이다. 한국은 원자력 안전 기술 분야에서 성장단계에 있다. 한국의 경우 '94년 이후로 특허의 출원이 증가하여 '94년 이전까지는 외국인 특허의 출원건수가 한국특허의 출원건수를 크게 능가하였으나 '97년 이후로는 한국특허의 출원건수가 외국인 특허의 출원건수를 능가하기 시작하여 2000년도 이후에는 외국인 특허 출원과 큰 격차를 보였다.

미국은 자국 내의 원자력 안전분야 등록특허의 63.8%를 점유하고 있으며, 한국 34%, 일본 5.1%, 유럽 37%로 한국과 일본에서 자국을 제외하고 가장 많은 특허를 출원한 국가이며, 유럽에서는 독일, 프랑스 등을 제치고 가장 많은 특허를 출원한 국가이다. 미국 내의 주요 출원인은 Westinghouse, GE, Hitachi, Combustion Engineering 등이며, Westinghouse, GE의 특허 점유율은 전체 특허의 31.4%를 차지하고 있다. 이로 미루어 미국 특허는 기초과학에 근거한 원천기술 특허로서 그 영향력이 매우 클 수 있다고 판단된다. 한국원자력연구소와 한국전력공사는 국내 주요 특허 출원인으로 나타났고, 한국원자력연구소는 조사시험분야의 특허가 14건으로 가장 많았고, 한국전력공사는 사고종합 대응분야의 특허가 11건으로 가장 많았으며, 노심안전, 원자로 진단, 소재 신뢰성 분야 등에 많은 특허를 출원하였다.

한국은 국내에 출원한 특허건수에 비해 해외 특허출원 실적이 상대적으로 미미한 실정이다. 한국 내에 출원된 특허건수는 154건이지만, 해외에 출원된 특허로는 미국 8건, 일본 1건, 유럽 1건으로 미진한 실정이다. 국내 출원 중 공공기관인 한국원자력연구소와 기업체인 한국전력공사, 한국수력원자력이 공동 출원한 건수는 29건이며, 한국특허에서 39건의 공동 출원 중, 원자력연구소와 기업간의 공동출원이 25건이며, 또한

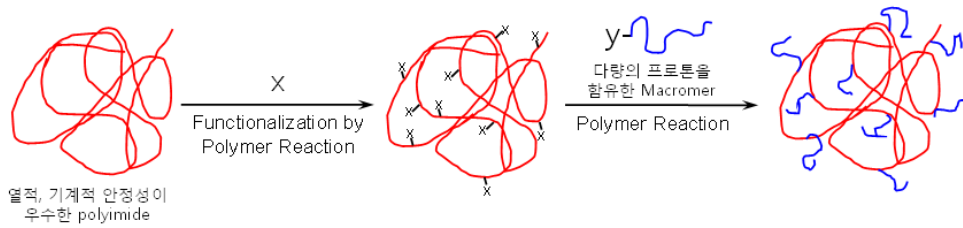
원자력 연구소는 44건의 특허를 출원하여 한국의 연구소와 기업 중 가장 많은 특허를 출원하였다.

**IV. 고분자 차단막 기술의 향후 개발방향**

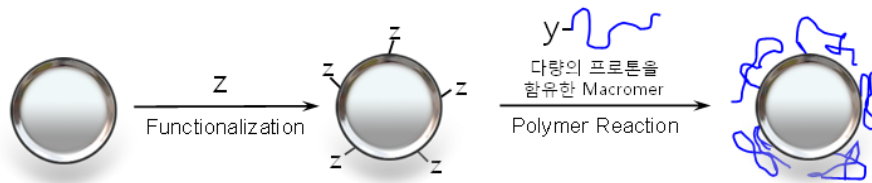
방사선 차폐용 고분자막의 경우, 종래의 기술핵심은 수지원료 속에 원자번호 40 이상의 원소 (Pb 분말)를 주체로 하는 분말 또는 화합물 분말을 혼합하여, 압출 성형법, 캘린더가공, 코팅법 또는 금형 성형법에 의해 수지시트를 제조한 후, 그 수지시트를 복수매 적층하여 라미네이트 가공을 행하는 것을 특징으로 하고 있으며, 핀홀에 의한 관통을 저지하여 방사선 차폐성능을 높일 수가 있는 방사선 차단막 제조 방법이다. 또한, 염화비닐수지 속에 WO<sub>3</sub> 분말, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 분말, Sn 금속분말을 사용하여 Pb를 배합하는 일 없이 방사선 차폐성능을 확보함과 동시에 인장강도, 인열강도, 유연성, 난연성을 겸비하고, 더 나아가 핀홀의 관통이 저지된 방사선 차단막을 제조하는 방법이다. 종래 기술과 같이 고분자 수지상에 나노 납 입자만을 적용할 경우 알파입자, 베타입자, 감마선까지 차단할 것으로 판단되나 인체에 가장 치명적인 중성자 차단은 한계가 있다.

이러한 문제를 해결하고 성능향상을 위해서는 방사선 차폐기능을 가진 입자를 나노크기로 설계함과 동시에 표면 개질에 대한 여러 가지 기술들을 적용하여 고분자 내에 균일한 분산 상태를 유지하여야만 가능하다. 아울러 다량의 수분을 함유한 층상실리케이트를 고분자 매트릭스에 고르게 분산시킴으로써 중성자까지 차단시키고 더 나아가 고분자의 주요 노화요인인 산소나 오존의 침투를 억제함으로써 차단막의 내구성을 향상시킬 수 있어야 한다. 이를 위한 보다 구체적인 방안은 다음과 같다. 알파/베타 입자, 감마선, 중성자 등의 모든 방사선을 차단할 수 있는 고분자 복합재료의 원천기술 확보와 제조 공정을 위해서는 우선 열적, 기계적, 화학적 안정성이 우수하고, 가시광선에서 투명할 뿐만 아니라 다양한 모양의 성형이 가능한 고분자 매트릭스의 선정이 중요하다. 구체적으로는 먼저 중성자를 효과적으로 차단할 수 있도록 다량의 프로톤을 함유하면서 열적 안정성이 우수한 고분자의 합성기술이 필요하다 (Figure 7).

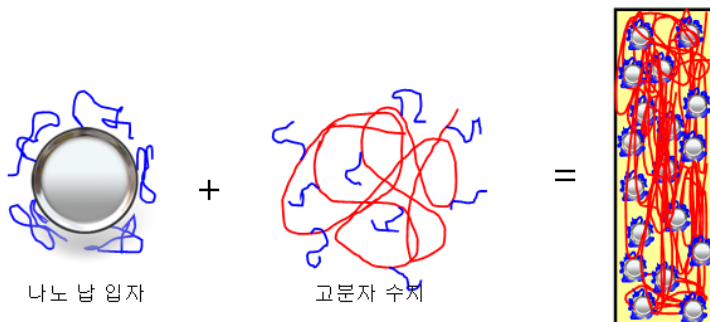
또한, 알파 및 베타입자와 감마선을 차단할 수 있는 미세 납입자 표면에 다량의 프로톤이 함유된 관능기를 도입할 수도 있을 것으로 판단된다 (Figure 8).



**Figure 7.** Schematic of functional polymers containing protons.



**Figure 8.** Surface modification of nano-sized lead powders.



**Figure 9.** A concept of active polymer barriers against radiation.

표면처리된 나노납 입자를 프로톤을 함유한 고분자 매트릭스에 균일하게 혼합한다면 방사선을 효과적으로 차단할 수 있는 기능성 방사선 고분자 차단막을 제조할 수 있을 것으로 기대된다 (Figure 9).

한편, 방사선에 장기간 노출된 고분자 소재의 노화속도는 매우 빨라서 약 40년 정도의 수명으로 알려져 있다. 그러므로 상기와 같이 능동적인 차단막을 개발하더라도 수명저하를 막을 수는 없다. 이러한 노화속도를 억제하고 동시에 중성자 차단효과가 큰 수분이 다량 함유된 층상 실리케이트를 고분자 매트릭스에 도입하여 필름을 형성하고 전술한 필름과 함께 다층 구조의 막을 제조한다.<sup>37</sup> 이 층의 역할은 추가적인 중성자 차단과 함께 산소투과도의 억제를 통한 고분자의 노화속도를 지연시킴으로써 전체 고분자 차단막의 수명을 연장하는 기술로 각광받을 수 있다고 본다.

### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 세계 수준의 연구중심대학 육성사업(R33-2008-000-10016-0)과 지식경제부의 지역혁신센터사업의 지원에 의해 연구되었음.

### 참고 문헌

1. J. M. G. Laranjeira, H. J. Khoury, W. M. de Azevedo, E. F. da Silva Junior, and E. A. de Vasconcelos, *Radiation Protection Dosimetry*, **101**, 88 (2002).
2. V. I. Kirko, *Journal of Materials Processing Technology*, **181**, 222 (2007).
3. D. Schmidt, D. Shah, and E. P. Giannelis, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, **6**, 205 (2002).
4. M. Alexandre and P. Dubois, *Materials Science and Engineering*, **28**, 1 (2000).
5. S. S. Ray and M. Okamoto, *Progress in Polymer Science*, **28**, 1539 (2003).
6. T. Wang, M. Wang, Z. Zhang, X. Ge, and Y. Fang, *Materials Letters*, **61**, 3723 (2007).
7. D. Shah, P. Maiti, D. D. Jiang, C. A. Batt, and E. P. Giannelis, *Advanced Materials*, **17**, 525 (2005).
8. S. G. Burnay, *Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B*, **185**, 4 (2001).
9. H. Lu and S. Nutt, *Macromolecules*, **36**, 4010 (2003).
10. Y. Li and H. Ishida, *Chemistry of Materials*, **14**, 1398 (2002).
11. X. Fan, C. Xia, T. Fulghum, M. K. Park, J. Locklin, and R. C. Advincula, *Langmuir*, **19**, 916 (2003).
12. S. E. Gwaily, H. H. Hassan, M. M. Badawy, and M. Madani, *Polymer Composites*, **23**, 1068 (2002).
13. A. B. Morgan and J. D. Harris, *Polymer*, **45**, 8695 (2004).
14. 김건보, “방사선차폐체 및 그 제조방법”, KR-A-10-2004-0048589 (2004).
15. 김영창, “제동방사선 차폐 구조물”, KR-Y1-20-0410136 (2006).