



# 일본의 원전 고경년화 대책을 위한 기술 정보 기반

- 高経年化対策のための技術情報について -

일본 종합자원에너지조사회 원자력안전보안부회  
고경년화대책검토위원회

## 배경

전기사업자는 원자력 발전 플랜트의 안전을 확보하기 위한 책임이 있으며, 원자력 발전 플랜트의 고경년화에 대한 안전성 및 신뢰성의 확보를 위하여 전기사업자는, 꾸준히 기술적 능력을 높여 적절한 보전의 검토와 실시, 그리고 계속적인 개선과 정확한 안전 관리를 하지 않으면 안 된다.

한편 국가의 안전 규제가 효과적으로 되려면 최신의 기술적 의견을 반영하여 과학적 합리성을 가진 객관적이고 효과적인 안전 규제를 실행할 필요가 있다.

경제산업성 보고서 「고경년화에 관한 기본적 사고방식」(1996년 4월)에서 금후 추진해야 할 기술 개발 과제로 검사, 모니터링 기술, 예방 보전·보수 기술 및 경년 변화 평가 기술 등을 들고 있다.

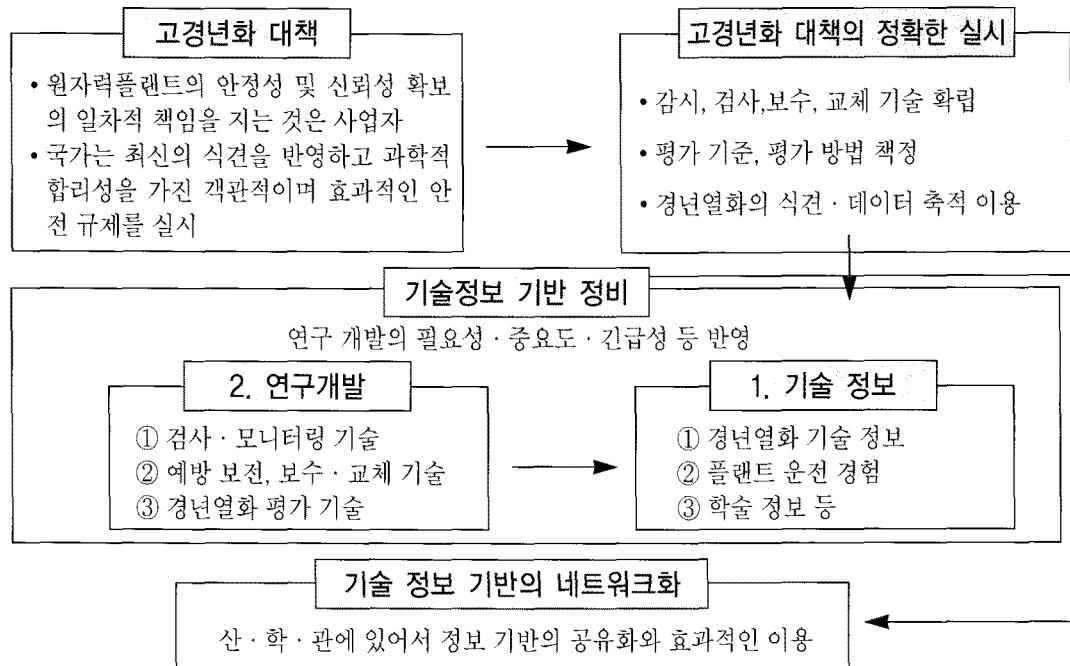
또 원자력안전위원회 원자로안전종합검토회 보고서 「발전용 경수형 원자로 시설의 고경년화 대책에 대하여」(1998년 10월)에서도, “고경년화된 원자력발전플랜트의 안전과 안전 운전을 위해서는, 국내외에서 축적된 원자력 발전 플랜트의 운전 경험이나, 안전 연구에서 새로운 시견을 축적 토록 노력하며 그 성과를 근거로

계속하여 고경년화에 관한 검토를 진행함에 있어서, 국내외의 원자력 플랜트의 경년 변화에 관한 데이터를 수집하여 그 특성을 고려 한 평가 수법을 개발하는 동시에 점검 및 검사 기술의 고도화를 계속해서 실시함이 바람직하다.”는 요지가 기술되어 있다.

2000년에는 원자력 발전 플랜트의 고경년화에 대한 대응을 원활히 진행하기 위하여, 효과적인 기술 개발과 규격 및 기준 정비를

추진, 기술 데이터의 축적과 기술 개발 성과 활용 검토, 국내외 관계자와 관련 기관과의 기술 교류 및 협조, 정보 제공 등을 시행하기 위하여 (재)발전설비검사기술협회 내에 「고경년화기술센터」가 설립되었다. (고경년화기술센터는 2003년 10월에 독립행정법인 원자력안전기반기구(JNES) 발족 후 폐지되었음).

현재 일본원자력학회에서 「원자력발전소의 고경년화 대책실시 기준」의 표준 책정 작업이, 그리고 또 동 학회의 발전로의 안전에 관한 로드 맵(Road map) 작성 특별 전문위원회에서는, 고경년화 대응을 위해 명확한 전략과 계획 입안을 목표로 로드 맵의 책정 작업이 진행되고 있다.



〈그림 1〉 고경년화 대책을 위한 기술 정보 기반의 위치 개념

## 기술 정보 기반의 현황

### 1. 필요성

고경년화 대책은 원자력 발전 플랜트를 구성하는 안전 기능을 갖는 모든 기계 등에 대하여 경년 열화사상(經年劣化事象)을 평가하고 금후의 장기 운전을 위하여 현상 보전에 추가해야 할 보전책(장기 보전 계획)을 책정하는 동시에, 이에 대한 적절한 Follow-up을 해야 할 것이다.

고경년화 대책을 적격하게 실시하기 위해서는 각종 기기 등에 대한 경년열화사상의 데이터와 시견(識見), 이것들에 대한 평가 수법 및 평가 기준, 평가 결과에 따른 성능 저하의 감시 방법, 보수와 교체 공법 등 폭넓은 기술 정보와 데이터 등이 필요하다.

더욱 이와 같은 기술 정보는 해

당 플랜트만이 아니라, 여러 외국을 포함한 다른 플랜트에 대해서도 수집할 필요가 있으며, 또한 항상 최신 정보로 갱신되지 않으면 안 되며, 기존의 시견으로 해결할 수 없는 것에 대해서는 안전 연구를 실시할 필요가 있다.

이와 같은 고경년화 대책을 뒷받침하는 기술 정보 등의 수집 및 정리는 사업자 단독으로는 곤란하므로, 산 · 학 · 관이 협력하여 계획적, 전략적으로 실시함으로써 효과적인 고경년화 대책에 도움이 될 것이며, 고경년화 대책에 관련된 시견과 데이터 등을 수집, 정리하여 유효하게 활용할 수 있는 정보 네트워크를 구축하는 동시에 고경년화 대책에 관련된 안전 연구를 포함한 종합적인 체계를 기술 정보 기반으로 삼고 고경년화 대책 실시의 기초로 활용해야 할 것이다.

### 2. 기술 정보의 정비

고경년화 대책을 위한 기술 정보로서는 플랜트 설계, 보수, 운전 등의 데이터와 국내외의 경년열화에 관련한 산 · 학 · 관의 안전 연구 성과, 학 · 협회정보, 학술 정보 등 다양하고 광범위한 기술 정보가 있다.

이미 국내외의 원자력 발전 플랜트의 사고와 고장 등의 운전 경험에 대해서는 현재 원자력발전정보공개라이브러리(재단법인 전력중앙연구소), (독립법인)원자력안전기반기구 등에서 수집 공개되고 있으며, 또 전력 회사 간에도 해외 정보검토회 등에서 해외 트러블에 대한 대책 검토가 실시되고 있다.

금후 고경년화 대책을 한층 확실하게 해 나가는데 있어서, 이러한 기술 정보를 그 종류와 이용 목적에 따라 분류하여 계속적으로



## 기술정보

〈표 1〉 고경년화 대책에 대한 국가의 연구 프로젝트

	연구 명칭	시험연구 범위	기간 (연도)	1999 이전	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
①	원자력발전시설 검사기술 실증	검사 · 모니터링 기술	1992– 2004											
②	노내구조물 등 특수재료 용접부 검사기술조사		2002– 2008											
③	Shroud(울타리판) 등 비파괴검사 기술실증사업		2003– 2006											
④	원자력플랜트 조사재(照射材) 안전보수 용접기술		1997– 2004											
⑤	원자력플랜트 기기재료 열화대책 기술		1996– 2003											
⑥	원자력플랜트 기기 고도 안전화 대책기술(중요기기 등 취약평가)		1996– 2005											
⑦	실용원자력발전설비 환경 중 재료 등 피로신뢰성 실증		1994– 2006											
⑧	복잡(複雜)형상부 기기배관 건전성 실증		2001– 2007											
⑨	원자력플랜트의 케이블경년변화 평가기술조사연구		2002– 2008											
⑩	니켈 기합금(基合金)응력부식균열 진전평가수법의 조사연구		2000– 2005											
⑪	조사유기(照射誘起)응력부식 균열평가기술조사연구		2000– 2008											
⑫	원자력용 스테인리스강의 내용력(耐応力) 부식균열 실증사업		2003– 2007											

수집, 관리하여 산·학·관이 적절히 공유하고 이용할 수 있는 기술 정보 네트워크를 확장하여, 이를 사업자들이 고경년화 대책 및 그 규제 행정에 효과적으로 활용하는 방법을 검토할 필요가 있다.

수집 및 정비해야 할 정보는 다음과 같은 것들이다.

### 가. 경년열화 기술 정보

— 원자력산업 —  
경년열화 기술 정보로서는 국내 외 및 타산업에서의 안전 연구 성과, 관련 규격 및 기준, 규제 정보 등이 있으며, 이것들을 적절하게

그리고 계획적으로 수집, 정비, 평가하여 고경년화 기술 평가에 반영할 필요가 있다.

### 나. 플랜트 운전 경험 정보

고경년화에 대응하기 위해서는 플랜트의 설계, 보수 및 운전 등의 데이터 및 점검 방법과 점검 실적 등의 정보에 대해서 데이터베이스화만이 아니라 사고나 트러블 등의 운전 경험의 데이터베이스화가 필요하다.

특히 사고나 트러블 정보에 대해서는 국내 정보에 추가하여 해

외 및 타산업의 정보를 체계적으로 수집하여 적시에 적절하게 플랜트 운전 및 보수 등에 반영을 도모할 필요가 있다.

### 다. 학술 정보 등

고경년화에 관련한 기술 평가는 경년 변화의 메커니즘을 이해하고, 경년열화에 관련한 연구 결과나 데이터 등의 학·협회 정보와 학술 정보 등을 근거로 과학적 투명성을 가진 평가를 해야 할 필요가 있다.

고경년화에 관련한 학술 정보로

〈표 2〉 전기사업자가 실시하고 있는 연구 프로젝트

	연구 명칭	기간 (연도)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
①	경수로 압력용기 강(鋼)의 중성자조사 취약예측식의 개발에 관한연구	2002-2004										
②	노내구조물의 IASCC 특성연구	1997-2003										
③	Ni기합금(基合金)의 PWSCC 장기신뢰성 확증시험	1996-2003										
④	실기(實機) 구조부재의 SCC 평가연구	2003-2006										
⑤	고온순수(純水) 중에서 저탄소 스테인리스강의 SCC Mechanism 연구	2003-2005										

〈표 3〉 국가의 연구 프로젝트 성과의 규격 및 기준화

	프로젝트명	기간(연도)	성과의 규격 및 기준화 반영	비 고
①	원자력발전시설검사 기술실증	1992-2004	전기협회:JEAG4207초음파 탐상시험지침	2005년도에 반영예정
②	노내구조물 등 특수재료 용접부 검사기술조사	2002-2008	전기협회:JEAG4207초음파 탐상시험지침 JEAG4208 와류(渦流)탐상시험지침	2009년도에 반영예정
③	Shroud 등의 비파괴검사기술 실증사업	2003-2006	상동	2007년도에 반영예정
④	원자력플랜트 조사재료 안전보수용접기술	1996-2004	기계학회:발전용원자력설비규격유지규격	2006년도에 반영예정
⑤	원자력플랜트기기재료 열화대책기술	1996-2003	상동	2005년도에 반영예정
⑥	원자력플랜트기기 고도 안전화대책기술	1996-2005	전기협회:JEAC4201원자로구조재의감시 시험방법:JEAC4206원자력발전소 기기에 대한 파괴인성(韌性)의 확인시험방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>2002년도까지의 성과는 JEAC-4201-2004및JEAC4206-2004에 반영 필</li> <li>감시시험편(片)의 재생방법 및 2상(2相) 스테인리스강의 열시효(熱時效) 견전성 평가를 JEAC4201 및 4206에 반영</li> </ul>
⑦	실용원자력발전 설비환경중 재료피로신뢰성실증사업	1994-2006	기계학회 또는 국가의 고시	<ul style="list-style-type: none"> <li>1999년까지의 성과는 METI통보(通報)로 반영. 최종성과의 취급은 미정.</li> <li>화력원자력협회:발전용원자력설비에 관한 환경 피로평가 가이드라인]</li> </ul>
⑧	복잡형상부기기 배관건전성실증	2001-2007	기계학회:발전용원자력설비규격 유지규격	2009년도에 반영예정
⑨	원자력플랜트의 케이블경년변화 평가기술조사연구	2002-2008	전기학회 또는 전기협회규격	신규설정. 2010년도에 반영예정
⑩	니켈(Ni)기합금 응력부식균열평가기술 조사연구	2004-2005	기계학회:발전용원자력설비규격 유지규격	2006년도에 반영예정
⑪	조사유기(照查誘起)응력부식균열 평가기술 조사연구	2004-2008	상동	2009년도에 반영예정
⑫	원자력용스텐리스강의 내응력부식균열 실증사업	2003-2007	상동	2008년도에 반영예정



는, 일본원자력학회, 일본기계학회, 전기학회, 일본전기협회, 화력원자력발전기술협회, 부식방식(防食)협회 등의 학·협회 정보, 원자력공학, 기계, 전기, 재료, 화학, 건축, 토목 등의 학술 정보 및 타 산업, 국외의 관련 정보 등 그 대상은 다양하다.

### 3. 안전 연구의 충실

고경년화 대책을 확실히 하기 위해서는 경년열화사상의 발생 및 진전의 메커니즘을 철저히 해부하고, 성능 저하의 정확한 파악과 예측 수법, 확실한 보수 공법 등에 대한 시험 연구는 계속 추진할 필요가 있다.

안전 연구의 주축으로서는 전술한 「고경년화에 관한 기본적인 사고방식」에 표시되어 있는 「검사와 모니터링 기술」 및 「예방 보전 및 보수 교체 기술」, 「경년열화 평가 기술」 등 각 분야이며, 각기의 사고방식을 표시하지만 구체적인 테마를 선정함에 있어서는, 효과적인 안전 연구를 진행하기 위해서 이제까지의 경년열화 사업 및 고경년화 대책으로부터 추출된 과제에 대해서 안전상의 중요성, 고경년화 대책상 중요성, 긴급성 등을 고려하여 결정함이 바람직하다.

또 안전 연구의 성과를 실제의 고경년화 대책이나 안전 규제에 신속히 반영할 수 있는 조치를 구축할 것도 검토해야 할 것이다.

고경년화에 관한 국가 및 사업자의 안전 연구 실시 사항을 <표 1>, <표 2>에, 그리고 현재 실시 중에

있는 안전 연구의 성과를 <표 3>에 기술하였다.

#### 가. 검사 및 모니터링 기술

안전도를 정확히 파악하는 관점에서 최신의 시장을 반영한 검사 수법에 의해 경년열화의 정도나 진전 등을 파악하기 위해, 결합 검출 및 사이징(Sizing) 정밀도의 향상 등의 시험 및 연구를 추진해 갈 필요가 있다.

지금까지 국가가 안전 연구로 실시한 「원자력 발전 시설 검사 기술 실증」의 성과를 반영하여 「JEAG 4207-2004 경수형 원자력발전소 용 기기의 공용 기간 중 검사시 초음파탐상시험지침」[일본전기협회] 이 책정되어, 국가의 기술 평가를 거쳐 현재 규제로 활용하고 있는 등 안전 연구의 성과가 고경년화 대책에 이용되고 있다.

또 경년열화사상(事象)의 메커니즘 해명을 근거로 한 예측 평가에 포함하여, 경년열화의 정도나 진전 등을 연속적으로 파악하기 위한 온라인상에서 검사 모니터링 방법에 관한 시험과 연구를 하는 것이 필요하다.

금후의 검사 수법에 관련된 중점 과제의 예로서는, 경년열화 기술과 같이 SCC 대응의 검사 모니터링 기술이 중요하며, 결정입계(結晶粒界)에 따른 미세한 균열을 정밀도로 검사할 수 있는 탐상 기술이나 그 진전을 온라인으로 포착하는 기술 등이 있다.

#### 나. 예방 보전 및 보수 교체 기술

안전도를 확보하는 관점에서 경년열화에 의한 성능 저하를 완화시키는 기술, 보수 및 교체에 의해 설비 등을 적절히 개선하는 기술 및 보수에 관련한 안전 평가 기술을 실증하는 기술에 관한 안전 연구가 필요하다.

지금까지의 예로는 국가가 안전 연구로 실시한 「원자력 플랜트 보전 기술 신뢰성 실증 사업」의 성과는 원자로의 노심 슈라우드(Shroud) 교체 공사에 적용되고 있다.

현실화가 예상되는 경년열화사상에 대하여 그 발생 부위를 보수할 때 종래에 적용해 온 예방 보전 및 보수 교체 기술에 새로 필요하게 되는 기술적 대응에 대해서 사업자 등은 보수 방법 등에 관한 기술 개발을 사전에 계획적으로 실시하고, 규제 당국으로서도 그 적용성 평가를 효율적으로 하여 신속한 대응을 할 수 있게 할 필요가 있다.

금후 안전 연구의 중점 과제의 예로서는, SCC 등에 의한 손상 배관 및 용기에 대하여 확실한 보수 공법의 시험과 연구를 들 수가 있다.

#### 다. 경년열화 평가 기술

안전도를 정확히 파악하는 관점에서 경년열화의 거동을 파악하고 예측하기 위한 연구와 안전 연구를 추진하고 성과의 활용과 신속한 규제 및 기준류 등에 대한 정비를 도모할 필요가 있다. 또, 경년열화사상의 평가에 있어서는 평가

기술의 표준화를 도모할 필요가 있다.

지금까지 국가 프로젝트인 「실용 원자력 발전 설비 환경 중 재료 등 피로 신뢰성 실증 사업」의 성과를 근거로, 실기(實機)의 사용 환경을 고려한 피로 평가를 실시하기 위하여 「발전용 원자력 설비에 관한 환경 피로 평가 가이드라인」(화력원자력발전기술협회)을 책정하여, 고경년화 플랜트의 기술 평가에 적용하고 있다.

또, 국가 프로젝트인 「플랜트 장수명화 기술 개발」에서 얻은 성과인 「열시효(熱時效)에 의한 취약점(脆弱點) 예측 모델」도 고경년화 기술 평가에 참고로 사용되고 있다.

실제로 발생하고 있는 경년열화 사상과의 관계에서는 지금까지의 고경년화에 관한 기술 평가에서도 많은 발생 사례로 열거된 가압수형경수로(PWR)와 비등형경수로(BWR)의 스테인리스 배관과 용기에서 발생하고 있는 응력 부식 균열(SCC : Stress Corrosion Cracking)의 발생 방지 및 진전 예측, 그리고 침식(Erosion)이나 부식(Corrosion)에 의한 배관 감육(減肉)의 진전 예측 및 시험, 연구가 금후 중점적으로 실시해야 할 과제의 예라고 생각된다.

또 2002년 10월의 제도 개정으로 건전성 평가 제도가 새로 도입되어 BWR의 재순환계 배관 등에 발생한 SCC에 대한 평가 수법이 정비되었으나, 고경년화 대책에 있어서 여러 가지 경년열화사상에 대응하는 건전성 대응 평가 수법

의 확립은 극히 중요하다.

또한, 금후의 고경년화 대책을 실시함에 있어서, 미국 NRC에서 검토가 진행되고 있는 것과 같이 고경년화에 의해 금후 현실화할 가능성 이 있는 사상(事象)과 발생 부위를 명확히 하고, 필요한 대응을 사전에 검토하는 것은 중요하다.

### 기술 정보 기반의 정비

#### 1. 국가의 역할

국가는 원자로 시설의 안전에 대하여 과학적 투명성이 있는 전문적 판단을 국민에게 보여야 할 필요성이 있으므로 안전 규제를 효과적이고 효율적으로 실시하기 위하여 필요한 기술 정보 기반 정비에 주체적으로 관여해야 한다.

그러나 국가와 전기 사업자 쌍방에 공통의 기술 정보 기반에 대해서는, 효과적이며 효율적인 정비에 대하여 산·학·관이 협력하여 검토할 필요가 있다.

#### 2. 사업자가 해야 할 역할

고경년화된 원자력 발전 플랜트의 안전성을 확보하고, 안정된 운전을 하기 위한 보수와 보전 활동을 실시하기 위하여, 직접 관계가 있는 기술 정보 기반의 정비는 주로 제조사를 포함하여 사업자 측에서 시행해야 할 일이다.

특히 플랜트 운전 경험을 통해 축적해온 노하우 등을 기술 정보 기반으로 자리를 굳힐 경우에는, 기술 계승을 포함하여 그 정비에

대해 민간이 주체가 되어 시행하는 것이 합리적이라고 할 수 있다. 또 타사의 플랜트의 운전 경험에 관한 기술 정보로서 폭넓게 공유하며 계승, 발전시켜 갈 필요가 있다.

즉, 플랜트 설계자, 기술을 국산화한 경험자, 풍부한 운전 경험에 있는 기술자의 경험과 기술은 개인에게 속해있는 경우가 많으므로, 그 기술력이 경험자의 퇴직 등에 의해 저하되는 일이 없도록 새로운 세대에 기술을 계승해 가는 것이 중요하다.

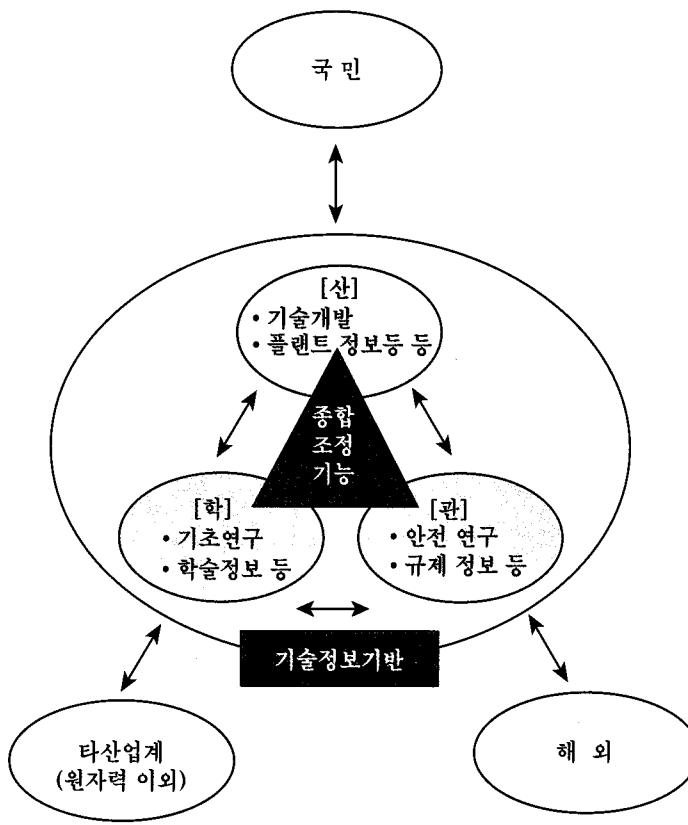
그러므로 이를 위해 매뉴얼의 정리와 표준화 등에 의해 경험과 기술의 집대성을 이룬 공유의 기술 정보 기반을 정비하는 것이 중요하다.

#### 3. 학술계의 역할

고경년화에 대응하기 위하여 경년열화사상의 메커니즘 해명, 예측 및 평가 등에 있어서 이론적인 분석 및 평가가 중요해지므로 학술계의 역할이 보다 한층 기대된다.

이 때문에 학술적 의견과 그 연구 등에 대해서는 기술 정보 기반의 일부로 포함시켜 유효하게 활용하는 것이 중요하다.

이때 고경년화 대책에 관련된 과제가 공학 영역에 한정된 것은 아니라는 것을 염두에 두고 자연과학, 인문과학 및 사회과학도 포함한 광범한 학술 분야에서의 연구를 기술 정보 기반에 포함하는 것이 중요하다.



〈그림 2〉 기술 정보 기반과 그 종합 조정 기능 및 대외적인 정보 교환의 개념

#### 4. 정비의 방향성

##### 가. 종합 조정 기능의 확보

고경년화 대책에 관련된 기술 정보 기반 정비는 국가, 사업자 및 학술계가 각각의 역할 분담에 따라 실시되지만, 그 내용은 공통성이 많고 또 각각의 성과를 규제면이나 실제의 고경년화 대책에 활용하기 위해서는 산·학·관이 유기적인 연계를 유지하며 기술 정보 기반의 정비 및 운영을 해 나갈 필요가 있다.

이 때문에 산·학·관이 참가하여 각각의 기술 정보 기반의 정비와 운영 상황에 대해 조정하고, 내용에 따라 적절한 연계나 정보 교환을 시행할 종합 조정 기능을 가진 조직을 구축할 필요가 있다.

또 이 조직은 관계 기관의 기술

정보 기반의 정비와 운영 상황을 항상 체크하여 유효한 정비와 운영을 할 수 있도록 필요에 따라 조언해 주는 것이 바람직하다.

##### 나. 정보 네트워크의 정비

기술 정보 기반 중 고경년화 대책에 관련된 의견과 데이터를 수집, 정비하는 정보 네트워크에 대해서는 기본적으로 사업자가 중심이 되어 구축해야 할 것이나, 국가에서도 규제에 관계되는 의견 등을 정비할 필요가 있기 때문에 JNES를 활용하여 이것을 실행하는 동시에 사업자의 정보 네트워크와도 적절한 연계를 맺는 것이 바람직하다.

또 정보 네트워크에는 고경년화에 관하여 여러 가지 안전 연구, 규격 기준류의 정비 등이 실시되

고 있는 것을 근거로 하여, 국내외의 관계자와 관계 기관과의 기술 정보 교류 및 협조에 활용할 수 있도록 하는 동시에 국민에 대한 적절한 정보 제공 등의 수발신이 될 수 있는 기능을 갖는 것이 바람직하다.

##### 다. 안전 연구의 실시

기술 정보 기반을 정비함에 있어서 고경년화 대책에 관련된 안전 연구를 추진함에 있어서는, 산·학·관이 고경년화에 관련한 과제, 문제점 및 역할 분담 등을 충분히 인식한 후에 해외 연구 기관 등의 협력도 고려하면서 전략적·효율적으로 실시할 필요가 있다.

고경년화 대책에 관련된 안전 연구의 과제는 대단히 광범위하므로 중복을 피해 가며 중점이 되는 것을 관계자가 충분히 협의하여 선정할 필요가 있다. 또 그 실시 상황은 적절한지의 여부를 외부 기관이 적절히 점검하지 않으면 안 된다.

안전 연구를 실시함에 있어서 계획 및 운영 관리는 한정된 기관에서 시행할 필요가 있으나, 개개의 안전 연구는 동일 기관에서 시행할 필요는 없으며, 그 내용에 따라 유연한 관계 기관을 구성하여 시행함이 바람직하다.

기술 정보 기반에서 산·학·관의 연계와 그 종합 조정 기능 및 대외적인 정보 교환의 개념을 〈그림 2〉에 표시하였다.