

## 中小型爐開發과 市場性

현재 세계적으로 많은 중소형로(SMR)가 개발되고 있다. OECD는 최근 발표한 보고서를 통해 이들 중소형로가 원자력에 대한 국민적 합의를 도출하고 에너지시장에서의 원자력의 점유율을 높이는데 크게 기여할 것이라고 밝히고 있다.

### OECD / NEA 보고서

대형 원자로가 앞으로도 계속 원자력발전에서 큰 몫을 차지하겠지만 10MWt ~ 600MWe의 중소형 원자로(SMR)도 열공급 및 발전용으로 일부 국가에서 개발되고 있다. 현재 개발 중인 이들 SMR은 지금까지의 원자로보다 일반적으로 설계가 단순화돼있어 이 노형의 지지자들은 새로 개발되고 있는 이들 SMR이 기존의 원자로보다 안전도가 높을 것이라고 주장하고 있다. SMR은 「작고 단순하고 안전한」 노형으로 개발되고 있다.

그러나 정책수립자들이 SMR의 필요성을 모두 인정하고 있는 것은 아니다. 더구나 SMR에 관한 자료는 불완전하거나 입수하기가 어려운 경우가 많고 특히 경제성에 관한 자료는 더욱 그렇다. 이같은 어려움을 돕기 위해 OECD/NEA(경제협력기구/원자력기관)에서는 전문가그룹을 형성해 아래 사항에 관한 보고서를 작성하도록 했다.

1. SMR 개발의 타당성
2. SMR의 중요한 기술적인 특성

3. SMR의 경제성 및 시장성
4. SMR 개발에 대한 장애요인

이 연구는 전문가그룹에서 합의한 계획에 따라 이에 참여하고 있는 나라에서 제공한 정보를 바탕으로 이루어졌다. 그외의 기술적인 문제, 경제성, 사용자의 요구조건에 관한 정보는 설문서와 사례연구를 통해 이를 수집했다.

### SMR을 개발하는 이유

SMR을 개발하는 이유는 크게 2가지로 볼 수 있다. 첫째 일부국가에서는 경제적인 이유에서이다. 즉 SMR은

1. 대형로에서는 기대할 수 없는 추가적인 에너지시장(열공급 등)을 창출할 수 있다.
2. CO<sub>2</sub> 감소에 크게 기여한다.
3. 저조한 에너지수요증가에 적합하다.
4. 소규모 전력공급망에 적합하고 구형(일반적으로 소형)의 화석연료발전소를 대체하는데 적합하다.

5. 규모에 의한 경제성에 대응할 만한 특별한 경제적인 이점이 있다.

이러한 이유 외에도 SMR은 사용자의 요구에 응하기 위해 개발했거나 개발중인데 이러한 사용자들의 요구는 대부분 안전과 국민적 수용태세와 관련이 있는 것들이다. 각국의 여러가지 요구조건 중에서 공통된 부분을 종합해보면 다음과 같다.

1. 비교적 단순한 설계로 되었을 것
2. 안전여유도가 클 것(예를 들어 운전원이 조치를 취하기 전에 상당한 시간적 여유가 있을 것)
3. 노심손상위험성이 적을 것
4. 사고가 난다 해도 주민들에 대한 영향이 적을 것

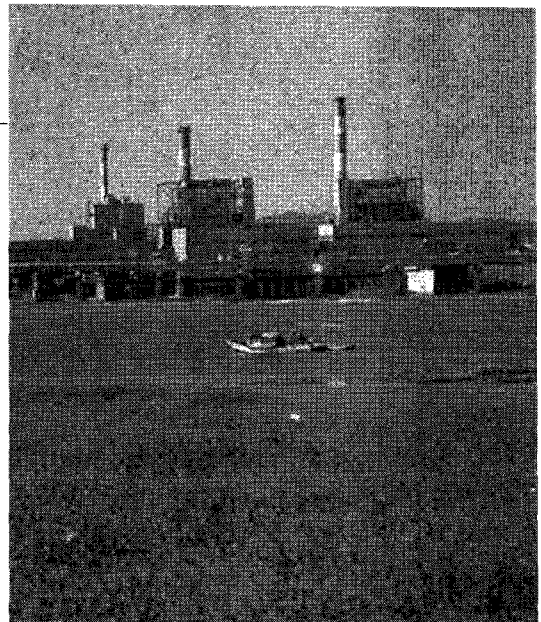
일부 국가에서는 SMR이 위와 같은 요구조건을 충족시키는데 매우 적합한 것으로 보고 있는데 그 이유는 다음과 같다.

1. SMR은 설계를 단순화시킬 수 있고 수동형 기기 및 시스템, 고유의 유리한 프로세스 등 새로운 특성을 부여할 수 있다.
2. 일부 SMR의 설계는 쉽게 이해할 수 있는 안전특성을 갖추고 있고 최악의 경우라고 방사능방출량이 매우 적다.
3. SMR은 일반사람들이 이해하기가 쉬워 일반사람들의 합의를 도출하는데 유리하다.

## SMR의 특성

OECD 회원국에는 현재 발전용으로 15가지, 지역난방용으로 7가지의 SMR 노형이 있다. OECD 보고서는 이들 노형을 개별적으로 설명하지 않고 각 노형의 특성을 파악해 이들 노형의 공통점을 찾는데 중점을 두었다. 모든 SMR 개발에서 공통되는 점은 수동형 안전시스템을 추구하고 있다는 것이다. 그 이유는 수동형 안전시스템이 대형로보다 소형로에 적용하기가 쉽기 때문이다. 이외에 모든 노형이 단순화된 설계와 이에 따른 이익에 중점을 두고 있다. 이러한 단순화된 설계의 실례를 들어보면 다음과 같다.

1. 1차계통 재순환루프 및 펌프를 외부에 설

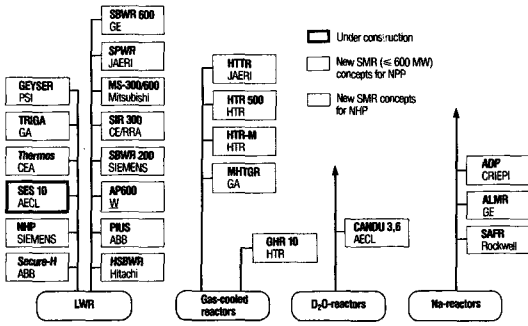


치하는 것을 지양했다(內藏방식 적용).

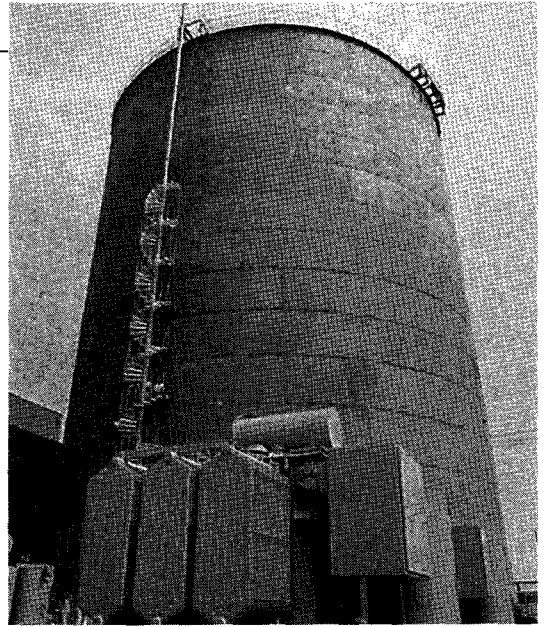
2. 大口徑 1차계통배관을 줄였다.
  3. 안전용 냉각재보충시스템을 제외했다.
  4. 용기의 蓄熱용량을 늘렸다.
  5. 수동형 비상냉각시스템을 사용했다.
  6. 수동형 잔류열제거시스템을 사용했다.
  7. 용기 상부에 원자로압력용기관통부를 두었다.
  8. 대형 가압기를 설치했다(내부 또는 외부).
  9. 耐震구조물의 수를 최소한으로 줄여 건물 설계를 단순화하고 震動격리방법을 적용했다.
- 여러가지 에너지수요를 충족시키기 위해 각종 설계방식이 적용되고 있지만 열공급용 SMR은 공통된 몇가지 특성을 가지고 있다. 이를 SMR은 모두 매우 낮은 출력밀도를 나타내고 있는데 이러한 특성은 온도와 압력이 낮은 운전조건과 함께 원자로를 단순화시키는데 크게 도움이 된다. 이같은 SMR은 모두 운전절차가 매우 간단해 無人운전이 가능한 것도 있다. 모든 SMR이 현장별로 설계되는 것이 아니고 규격화된 제품으로 설계돼있다.

## SMR의 시장성

특정한 요건만 갖추어진다면 세계에너지시장에 SMR이 진출할 수 있는 가능성은 높다. 발전용 SMR의 경우는 세계시장으로의 진출은 이미 정착된 대형로를 포함한 대체발전원과의 가격경쟁 때문에 제약을 받지만 원자력산업계



〈OECD 회원국 내에서의 SMR 개발현황〉



가 모두 큰 용량에 의한 경제성을 추구하고 있는 대형로 만들 수 용하고 있는 것은 아니다. 일부 SMR은 설계를 단순화하고 공장에서의 조립부분을 늘림으로써 대형로와 경쟁력을 갖게 한 것도 있다. 이외에 발전용원자로 시장에서 SMR이 경쟁력을 갖게 되는 요인들은 다음과 같다.

1. 대형로를 사용할 수 없는 소규모 전력수요를 충족시킬 수 있다.
2. 전력수요증가율이 낮은 지역이나 소규모 배전설비를 갖고 있는 기업체의 자가용 발전설비로 적합하다. 이같은 특성은 개발도상국에서 더 필요하다.
3. 초기투자가 낮아 투자에 의한 위험부담이 적다.
4. 일반국민들의 합의를 얻기가 비교적 용이하다. 따라서 발전용 원자로시장에 진출하기가 쉽다.

지금까지 원자료가 거의 진출하지 않고 있는 열공급부문(지역난방용 및 공업용)에 진출할 수 있는 여지가 많다. 이 부문에서의 SMR 확장은 환경보전 차원에서도 지지를 받을 수 있다. 이러한 확장은 대체적으로 대형로에 대해서는 허용되지 않고 있다.

지역난방시장은 일부 지역에서 이미 지역난방을 실시하고 있는 핀란드, 독일, 스웨덴, 스위스와 같은 북방국가에 한정돼있다. SMR을 곧바로 적용될 수 있는 경우는 기존의 화석연료설비를 대체하는 경우다. SMR 시장을 더욱 확대하기 위해서는 새로운 난방열공급망을 확

장하기 위한 OECD 회원국간의 긴밀한 노력이 필요하다. 공업용(또는 작업용) 열공급시장은 주로 대규모 공업단지 내에 있다. 또한 경제적인 면에서는 熱供給發電爐가 열공급전용로보다 유리하다. 소형의 모듈형 원자로가 열공급용으로는 대형로보다 훨씬 유리하다. 열공급부문에서는 복합식 열공급로가 열공급을 보장하기 위해 유리하다.

SMR과 주로 결합되는 열공급원은 화석연료인데 1980년대 후반의 화석연료가격 수준(특히 천연가스)에서는 SMR의 상업화가 큰 매력이 없었다. 그러나 이같은 화석연료의 낮은 가격은 앞으로 높아질 것으로 예상되는데 반해 SMR은 지속적인 개발로 가격이 낮아질 것으로 보인다.

## SMR의 신뢰도

앞으로 30년간 SMR은 전망이 있는 것일까. 현재의 사회분위기로 보아서는 인구밀도가 높은 지역 가까이에 새로 원자력발전소를 짓는다는 것은 여전히 쉽게 받아들여질 것 같지 않다(안전수준이 높아진다 하더라도). 따라서 원자력 산업계가 우선 해야 할 일은 일반국민의 신뢰와 지지를 회복하는 일이다.

대부분의 경우 이 과정은 서서히 진행되는 것이 상례인데 이렇게 되면 인구 밀집지역에서

떨어진 곳에 원자력발전소를 지을 수 밖에 없다. 이러한 경우 SMR 시장은 호기를 맞게 되는데 이러한 용도로는 SMR 용량범위 내에서 가장 큰 것을 선택하게 될 것이다. 그 다음 단계는 공업용 열공급시장으로 진출하는 것이다. 대규모 공업단지 내에 SMR(열병급형식으로)을 설치한다는 것은 SMR 시장을 넓히는 한편 원자력발전소에 친근감을 갖는 사람을 점차 늘리는 결과를 가져올 것이다. 이것은 결국 일반 국민들의 신뢰감을 높이고 지역난방열공급시장에서 SMR이 널리 받아 들여지는 결과를 가져올 것이다.

## SMR 개발의 장애요인

SMR의 개발과 보급에 장애가 되고 있는 요인들은 기술적, 경제적, 제도적인 것으로 나눌 수 있다.

### 1. 기술적인 장애요인

기술적인 장애요인으로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(1) 새로운 종류의 원자로이기 때문에 대개의 경우 그 특성을 증명할 필요가 있다(이것은 결과적으로 비용과 시간을 가중시킨다).

(2) 현재 제안되고 있는 노형이 너무 많아 경우에 따라서는 별로 큰 차이가 없는 노형을 개발하는데 노력과 투자가 분산되는 결과를 가져온다.

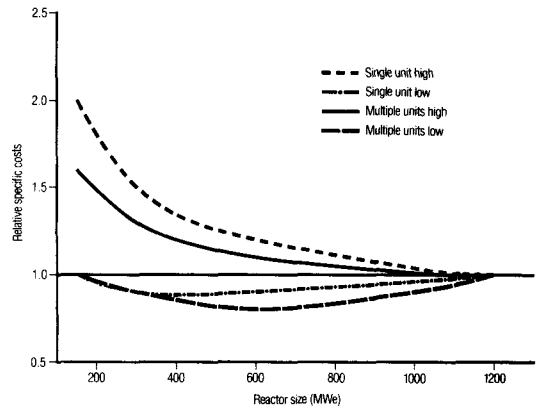
이같은 장애요인을 제거하기 위해서는 가급적 빠른 시일 내에 SMR의 장점을 증명해보이는 것이다. 이같은 조치는 국제적인 공동개발의 틀을 마련하는데 가장 효과적인 것으로 보인다. 또한 노형의 수를 줄이는 것도 중요한 일이다.

### 2. 경제적인 장애요인

SMR의 보급에 장애가 되고 있는 경제적인 요인들은 다음과 같다.

#### (1) 용량위주의 대형로의 경제성

대형로는 중앙통제하의 에너지공급망이나 잘



<SMR과 대형로의 원가비교(영국 자료기준)>

개발된 공급망을 가지고 있는 나라들의 장기적인 공급계획에 적합하다.

(2) 현재의 시간과 비용이 많이 드는 인허가 절차는 건설기간과 비용을 줄이기 위해 간소화될 것으로 보인다. 그러나 인구밀집지역 근처에 SMR을 건설하게 되면 일부 국가에서는 안전요건을 강화하게 될지도 모른다. 나라마다 규제조건이 다른 것도 기술이전을 어렵게 만드는 요인이 되고 있다.

#### (3) 개발자금부족

중기적으로 불확실한 시장전망 때문에 위험 부담이 큰 연구개발활동보다는 이미 정착돼있는 노형에 투자할 것으로 보인다.

(4) 열공급의 경우는 또다른 문제가 있다. 원자력에 의한 열공급은 일반적으로 화석연료와 가격경쟁이 되지 않는다. 더구나 지역난방의 경우는 공급비용 때문에 추가비용이 발생한다. 전기와 열공급을 수요에 따라 동시에 최적화 시킨다는 것은 전기·열 동시공급원자로에서는 매우 어려운 일이다.

이러한 장애요인에 대한 대책으로는 에너지 시장에서 SMR을 대형로와 경합하는 원자로로 보지 말고 보완적인 원자로로 취급하는 것이다. 같은 현장에 몇기의 SMR을 건설하는 방법도 생각할 수 있고 SMR에 대한 건설허가 및 형식승인절차를 표준화하는 것도 바람직하다. 재정적인 위험부담은 국제협력에 의해 공



동부담하고 모든 대체방안의 가격경쟁력도 같은 원칙에 따라 평가돼야 한다. 또한 전기·열 동시공급로를 발전전용로와 비교할 때는 전기·열 동시공급로의 개선된 열효율을 감안해야 한다.

### 기술 이외의 장애요인

SMR 보급에 장애가 되고 있는 기술 이외의 장애요인은 다음과 같다.

1. SMR은 어떠한 형태의 원자력에너지에도 반대하는 일반적인 경향의 영향을 받고 있다. 이같은 원자력에 대한 거부반응은 복잡한 기술에 대한 불안감, 방사선에 대한 두려움, 나라마다 다른 피폭선량허용치로 인한 혼동 등에서 오는 것이다. 또한 과학계 내부에서도 자심감이 결여돼있다.

일부국가에서는 이러한 원자력에 대한 반대가 원자력에너지의 확장을 반대하는 정치적인 결정으로 이어지고 있다. 이같은 일은 특히 원

자력의 전략적인 필요성에 대해 뚜렷한 증거가 제시되지 않았을 때 일어난다.

2. 특히 SMR에 반대하는 이유는 원자로수가 많아져 이에 종사하는 종업원수가 많아진다는 것과 대형로보다 SMR이 나온 점이 뚜렷히 부각돼 있지 않기 때문이다.

이러한 상황에 대한 대책으로는 일반 사람들이 이해할 수 있을 것이라는 확신 아래 홍보에 주력하고, 안전대책에 관해 국가간에 협조하는 것을 들 수 있다. 또한 홍보활동을 강화하고 결정권자와 일반 사람들에게 SMR의 안전특성을 설명하는데 더 많은 노력을 기울여야 할 것이다(대부분의 SMR에서는 중대사고가 절대로 일어나지 않는다는 점을 강조해야 한다).

### SMR의 장래성

발전용 원자로시장에 SMR이 성공적으로 진출하려면 발전용 대형로와의 가격경쟁력을 갖추고 있어야 하는데 이를 달성할 수 있을지에

대해서는 의견이 엇갈리고 있다. 일부 국가에서는 주요 원자로메이커들이 경제적으로 매력적인 SMR을 개발하는데 이들 SMR은 단순한 설계, 공장조립방식의 대폭 이용, 현장공사기간의 단축, 낮은 초기투자, 조속한 상업운전개시 등의 이점 때문에 경제적으로 유리하다. 또한 신뢰성, 보수성, 안전성을 모두 갖추고 있어 고객의 투자효율을 상당히 높여준다. 그러나 대형로를 선호하는 사람들은 이러한 SMR의 이점은 대형로에도 해당된다고 주장하고 특히 동일한 원자로를 계속해 건설할 때는 더욱 그렇다고 했다.

그러나 SMR을 선호하는 더욱 설득력 있는 주장도 있다. 즉 세계의 발전설비시장에는 현재의 대형로보다 소형로를 찾는 고객들이 있다는 것이다. 이같은 일은 고객의 전력회사가 소규모이거나 전력수요성장률이 낮거나 입지조건이 제한을 받거나(냉각수 등) 하는 경우에 일어난다.

열공급시장에 진출하기 위해서는 소형로가 필요한데 이러한 소형로는 비교적 소규모이고 서로 연결되지 않은 독립적인 난방열 또는 공업용 열의 공급망에 적합한 것이어야 하고 작업과정에서 필요한 온도를 유지할 수 있어야 한다. 열수요에 맞추어 발전소폐열을 최대한 이용하는 것도 경제적, 환경적인 면에서 상당히 유리하다.

대도시 가까이에 설치되는 원자로에 대해서는 주민들이 거부반응을 일으키는데 이를 무마하기 위해서는 SMR의 안전성에 대해 이를 보다 확실하게 받아들일 수 있도록 이것을 증명할 필요가 있다. 이같은 조치는 국내열공급시장에 SMR이 진출하기 전에 취해져야 한다.

## SMR 발전을 위한 노력

SMR의 높은 잠재력이 인정은 받고 있지만 지금까지 이루어놓은 확고한 성과는 없다. 즉 어떠한 메이커도 고객을 위해 상업용 SMR을 체계적으로 건조해본 일이 없다. SMR을 발전시키는 과정에서 당면하는 문제는 바로 이러한



문제점을 어떻게 해결해 나갈 것이냐 하는 것이다.

또한 현재 개발이 끝났거나 개발중인 SMR은 그 종류가 많은 반면에 아직도 운전중인 실증로가 없다는 것도 문제다. 발전, 지역난방, 공업용열공급의 각 시장에 상장되는 우량 SMR 노형의 수를 줄인다면 시장확대에 큰 진전이 있을 것이고 최대한의 표준화를 이루려는 목표도 달성할 수 있을 것이다. 원자로메이커간의 통합이 많이 이루어지고 있는 것도 이러한 결과를 가져오는데 큰 도움이 될 것으로 보인다.

또 다른 큰 문제는 형식승인을 받은 SMR은 승인과 관련된 설계변경 없이 계속해서 건설, 가동시킬 수 있다는 것을 보장하는 일이다. 형식승인은 대형로보다는 SMR에 더 필요하다. 왜냐 하면 SMR은 대부분 적정용량으로 그 용량이 고정돼있기 때문이다. 또한 SMR 노형에 대한 형식승인은 non-nuclear 원자로시장에서의 고객들의 거부반응을 해소하는데 도움이 되고 결과적으로 그들을 경제적으로 돕게 될 것이다. 또 형식승인을 받은 원자로를 국경을 초월해 받아들여지는 것도 바람직한 일이다.

이 문제와 관련해 주목할만한 일은 EC 위원회가 EC 내에 공동시장을 개설한다는 생각으로 공통된 기준과 시방을 설정, 기기의 표준화를 계획하고 있다는 것이다. 예를 들어 EC 위원회에서는 현재 경수로의 안전성문제와 고속로문제를 다루고 있고 SMR 개발문제에도 큰 관심을 보이고 있다.(NEI 1月號)