

日本の 中小型爐 開發研究

— 그 意義와 現況 —

輕水爐의 利用에 關係 調査作業을 수행하여 온 日本通産省은 中小型輕水爐(SMLWR)의 利用에 對해 그동안의 檢討結果를 정리하였다.

이 研究에는 5,000戶의 대규모 주택단지, 人口 100,000名의 지방중소도시, 産業利用(석유 화학 및 製紙·펄프공장), 産業과 주거혼합이 용(工場에 5,000戶의 주택단지 附設) 등 네가지 경우가 검토되었는데 地域暖房供給에는 人口 100,000名의 도시가 原子爐로 부터의 熱供給에 가장 좋은 對象이며 200MW의 熱出力容量을 갖는 原子爐의 開發이 중요하다고 강조되었다.

1. 中小型輕水爐開發의 意義

日本通産省의 통계에 따르면 製造産業全體의 에너지소비는 石油換算 約2억30만kℓ인데 그중 製紙·펄프제조산업이 約1,100만 kℓ, 石油化學工業과 石油製品製造産業이 9,500만kℓ를 차지하여 鐵鋼産業과 함께 多量의 에너지를 소비하므로 石油化學工業과 製紙·펄프製造産業이 中小型輕水爐의 利用研究모델로 선택되었다.

製造産業에서의 에너지소비를 利用方法別로 보면 原材料用, 직접가열用, 보일러用 및 기타로 구분되는데 中小型輕水爐로 代替할 수 있는 것은 주로 보일러用으로서 約3,800만kℓ, 日本全體에너지소비의 約9%를 차지하고 있다.

에너지 消費密度가 높고 에너지가 체계적으로 공급되는 콤비나트의 에너지消費量은 이 분야에서의 소비가 경기침체와 省에너지 노력으로 인해 현재 계속 감소되고 있기 때문에 量的으로 파악하기가 매우 어려우나 代表的인 콤비나트는 熱出力 200MW輕水爐 1基 또는 2基에 상당하는 에너지를 소비하는 것으로 概算될 수 있다.

그러므로 콤비나트의 再活性化가 이루어지는 시기에는 中小型輕水爐가 에너지 需要에 對應할 수 있어 石油代替에너지源으로서의 역할을 효과적으로 수행할 것이다.

특히 原子力發電이 전체발전분야의 約20%를 占하는 日本의 경우, 原子力發電에서 축적된 技術과 經驗을 토대로 하여 中小型輕水爐에 의한 核에너지가 이들 産業에 효과적으로 利用된다면 中小型輕水爐는 石油代替에너지源으로서 뿐만 아니라 에너지의 安定된 供給이라는 면에서도 중요한 역할을 하게 될 것이다.

한편 家庭用 暖房에 소비되는 에너지는 日本全體에너지消費의 數%에 불과하며 또한 地域에 에어컨디쇼닝시스템과 같은 체계적인 열공급은 극히 한정되어 있으므로 이 분야에 대한 代替에너지源으로서의 中小型輕水爐利用은 효과적이 못된다.

그러나 地域에 에어컨디쇼닝은 환경보전, 安定된

熱供給 및 편리함 등의 利點을 갖고 있으므로 그 利點을 단순히 量的效果만으로 평가할 수는 없으며 오히려 生活의 改善과 에너지利用의 効率化 등의 效果를 중요시 하여야 한다.

日本에서의 地域에어콘디쇼닝은 극히 제한되어있는 것이 사실이나 日最低氣溫이 0°C 이하로 떨어지는 겨울이 100일이 넘는 地域과 日最高氣溫이 25°C 이상이 되는 여름이 100일이 넘는 地域이 많으므로 광범한 응용의 可能性은 충분히 있다.

2. 地域開發

中小型輕水爐는 비교적 적은 규모의 에너지需要에 대한 對應과 에너지消費地 부근에 立地

가 가능하게 하려는 것이다.

에너지供給源이 에너지消費地域에서 멀리 떨어진 곳에 주로 위치하고 있다는 관점에서 볼 때 中小型輕水爐는 근처에서 供給되는 에너지를 利用하여 地方産業의 진흥을 촉진할 것으로 기대되며 그렇게 함으로써 고용의 증대를 가져오게 되어 그 결과 균형잡힌 開發이 可能하게 될 것이다. 中小型輕水爐의 開發은 地方中小都市의 再開發과 지역진흥의 課題도 될 수 있을 것이다.

第3次 全國綜合開發計劃에서는 大都市에 人口와 産業이 집중하는 것을 억제하고 地方을 開發해서 過密都市와 過疎僻地의 문제를 해결하여 全國土의 利用이 균형잡히도록 함으로써

〈表〉 中小型輕水爐利用의 概念

		Reactor	Turbine	Siting	Electrical Output	Steam/Hot Water Supplied	Utilization Form
Case I	Ia	BWR 700MWt	Bleeding/ condensing turbine	On the fourth alluvium formation (Not on rock sites)	124MWe	Steam 255t/h (40kg/cm ² g)	paper and pulp, petrochemical and Al smelting industry complex
	Ib	BWR 620MWt			90MWe (Max. 200MWe is possible in case of reduction of steam load)	230t/h (7 kg/cm ² g)	
Case II	IIa	BWR 200MWt	—	Underground or semi-underground	—	Hot water 3,320t/h (160 °C)	Regional air-conditioning for a new town/ local core city
	IIb	BWR 20 MWt	—	Underground	—	Hot water 350 t/h (170 °C)	Regional air-conditioning for housing estate/ office buildings
Case III		PWR 200 MWt	— (Exclusive use for steam supply)	On the fourth alluvium formation (Not on rock sites)	—	Steam 300 t/h (7 kg/cm ² g)	1) Petrochemical plant or 2) Paper/pulp plant, or 3) Paper/pulp, Al smelting and petrochemical industry complex
Case IV		PWR 280 MWt	Back pressure turbine	On the sea (Barge-type)	20 MWe	Steam 55 t/h (35kg/cm ² g) 230t/h (5,5kg/cm ² g)	Paper/pulp and Al smelting industry complex

人間居住를 위한 종합적 환경이 형성되도록 하는 方式을 선택할 必要가 있다고 하였으며 또 한 安定된 居住가 확보되는 기본조건으로는 고용장소의 보장, 주택 및 생활관련시설의 정비, 적당한 교육 및 문화수준과 의료혜택의 보장이 라고 하였다.

이와같은 관점에서 中小型輕水炉는 地方産業에 체계적으로 熱을 供給하여 고용을 증대시키고 地域에어른쇼닝과 눈을 녹임으로써 居住와 都市의 改善에 중요한 역할을 할 수 있다.

이번의 檢討에서는 人口 100,000名의 都市가 모델로 설정되었는데 이것은 地方中小都市를 염두에 둔 것이다. 試算에 따르면 中小型輕水炉로 부터의 熱供給에는 높은 熱코스트를 포함한 여러가지 문제점들이 있으나 장래에 이 분야는 中小型輕水炉利用形態로서 유망할 것으로 기대된다.

3. 技術開發

原子力發電은 大規模의 技術과 社會시스템에 기반을 두고 있으며 原子力發電의 開發當初부터 이들 시스템에 대한 大型化, 高度化 및 專門化에 노력을 기울여 왔다.

그러나 中小型輕水炉는 이러한 일반적인 경향과는 달리 小型化, 運轉의 용이화 및 일반화를 추구하는 특징을 갖고 있다. 즉, 이와같은 原子炉시스템에서는 小型化, 單純化, 運轉의 용이화를 도모하며 産業用과 地域에어른디쇼닝 및 소비자 요구에 따른 기타 목적으로 증기를 供給하는데 利用될 것이다.

이와같은 관점에서 中小型輕水炉는 넓은 의미에서 高度, 專門技術의 용이화 및 일반적인 이용이라고 생각할 수 있으며 原子力發電用輕水炉와 구별하여 제2세대의 原子炉開發이라고 볼 수 있다.

이러한 原子炉開發의 궁극적인 목적은 原子炉固有의 安全性과 軟弱地盤立地 등에 대한 자

유도를 높이고 高度專門技術者에 의한 運轉과 견고한 地盤만의 立地 등과 같은 엄격한 제약에서 原子炉를 해방시키려는 것이다.

만약 이와같은 概念의 原子炉가 實現된다면 개발도상국과 낙도에서 까지 利用할 수 있어 그 용도는 점점 확대될 것이다.

4. 利用모델의 經濟性評價

가. 5,000戶 주택단지

이 모델의 검토에서는 原子炉를 포함하고 있는 熱供給플랜트에서 공공시설, 상업시설, 병원, 학교, 기타 건물 등을 갖고 있는 5,000戶의 주택단지(原子炉로 부터 1~5km)에 高溫水를 供給한다고 생각하였다.

현재의 열공급업체에 의한 최대열공급단가가 60엔/Mcal인데 비해 이 모델에서의 各戶의 需要端單價는 原子炉에서 1km 떨어진 곳에서 265~267엔/Mcal이고 5km 떨어진 곳이 296~306엔/Mcal이다. 즉, 5,000戶 주택단지모델에 공급되는 Mcal당 熱單價는 재래의 열공급업체와 비교하여 매우 비싸다.

이것은 열수요규모로 보았을때 原子炉의 建設費가 너무 많으며(전체건설비용의 71~80%), 民生用 熱需要의 패턴이 原子炉 稼動率을 21~24% 정도로 규제한다는 두가지 요인때문이다.

그러므로 두번째 요인이 改善되지 않는다면 주택단지내 시스템의 건설비용이 동일하다고 하더라도 재래의 보일러시스템과는 경쟁이 되지 않는다.

5,000戶주택단지에서 民生型需要(家庭型需要)에 대해서만 熱을 공급할 경우 熱負荷의 평균화 또는 열수요규모의 증가는 거의 불가능하다. 따라서 地方産業은 물론 人口 100,000名을 갖고 있는 都市의 열수요 충족 등을 고려해 볼 필요가 있다.

나. 人口 100,000名의 都市

모델도시로는 한냉지 내륙에 위치하고 있는

지방중소도시를 택하였으며 상업, 사무실 및 공공시설이 갖추어진 주거지역 약 38km²와 약 2km²의 地方産業團地에 熱을 공급하는 熱源으로는 熱出力 200MW의 原子炉를 고려하였다.

이 경우 Mcal당 열공급단가는 60~72엔인데 15엔/Mcal에 상당하는 原子炉運轉에 드는 熱單價를 빼면 실제의 Mcal당 單價는 약 45~57엔이 된다.

이와같은 모델도시에서는 전체 연간열수요의 65%가 地方産業에서 소비되며 주택수요는 18%이다. 그러므로 産業, 주택, 상업, 사무실, 공공시설에로의 분배율을 설정할 필요가 있다. 그러나 이런 분배율을 고려하지 않더라도 주로 산업단지의 일정하며 대규모적인 熱需要에 의해 原子炉의 稼動率은 대폭 높일 수 있기 때문에 열공급단가는 목표치인 60엔/Mcal에 접근한다. 즉, 人口 100,000名の 도시에 대한 열공급단가는 66%라는 높은 原子炉 稼動率에 의해 목표코스트에 거의 접근한다.

그러나 人口 100,000名인 도시의 열공급에 대응하는 原子炉에 대해서는 도시 부근에 建設이 가능하도록 하는 立地技術의 확립과 安全性確保가 충분히 보증되는 熱出力 200MW규모의 원자로가 요건이다.

이와같은 원자로의 개념에는 과중하게 높은 경제적 리스크를 포함해서는 안되며 동시에 熱供給單價를 줄이기 위한 열공급지역내 시스템의 합리화가 큰 과제이다.

다. 産業利用

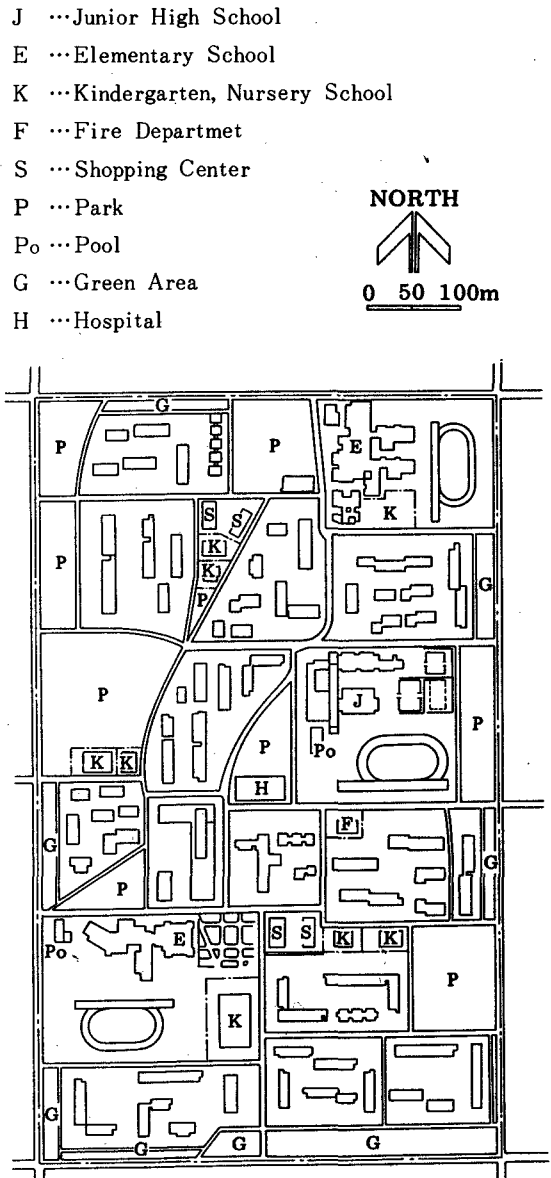
산업이용분야에서는 石油化學플랜트와 製紙·펄프공장 두가지 경우에 대해 검토되었다. 熱出力 200MW의 原子炉가 연간 에틸렌 400,000톤규모 또는 신문지 750,000톤이라는 대규모 단일공장에 熱을 공급한다고 가정하였다.

原子炉는 工場에서 약 500m떨어진 곳에 설치되는데 플랜트입지조건에 따라서 해안선에 위치한다. 原子炉, 예비보일러, 급수장치 및 주

배관의 건설비용은 전체 약 730억엔으로 概算되며 그중 原子炉建設比率이 97%가 된다.

이 검토에서 工場의 熱需要는 200톤/h였는데 만약 열수요가 原子炉容量에 적당한 300톤/h가 된다면 열공급단가는 목표코스트인 6,500엔/톤과 비교할때 7,627엔/톤이 된다. 주배

〈그림〉 5,000戶주택단지의 概念圖



관의 건설비용은 상대적으로 적기 때문에 工場入口端單價는 주로 원자로건설비와 가동율에 의존하므로 만일 300톤/h 열수요와 높은 가동율이 보장된다면 이와같은 工場에서의 原子炉熱利用은 경제적 타당성이 있게 될 것이다.

라. 産業과 住居 混合

이 경우에 대해서는 製紙·펄프공장 또는 石油化學工場에 5,000戶의 주택단지가 附設되어 있을 때의 利用에 관해 검토되었는데 電氣·熱併合炉의 채택이 가정되었다. 이 型式의 열공급은 민생열이용에 의해 열부하특성이 결정되기 때문에 원자로의 가동율이 필연적으로 떨어지며 그로인해 경제성이 매우 나빠진다.

原子炉建設費는 전체비용의 80~97%가 될 것이다. 목표코스트내로 달성시키기 위해서는 원자로건설비를 줄여야 한다. 즉, 가동율 70%에 톤당 6,500엔이라는 목표코스트 달성을 위해서는 概算된 건설비용 871억엔을 약 24% 정도 인하시켜야 한다.

5. 앞으로의 課題

가. 經濟性的의 改善

검토된 모든 熱利用모델에서 그 경제성은 목표코스트(민생이용 60엔/Mcal, 産業利用 6,500엔/톤)를 훨씬 상회하는데 그 중요 요인은 원자로의 높은 건설비때문이다. 예를들어 5,000戶주택단지모델의 경우 原子炉建設費는全體의 71~80%상당을 차지한다. 그러므로 熱出力 KW당 165만엔으로 概算되는 建設費用을 1/10 정도로 줄여야 한다. 그러나 이것은 근본적으로 단순화된 전혀 새로운 개념의 원자로를 채택하지 않고는 불가능하다.

人口 100,000名인 모델도시의 경우 原子炉建設費는 전체건설비용의 21% 정도로서 熱單價의 25~30%를 차지한다. 역으로 도시내에 설치되는 地域배관과 서브플랜트의 건설에 전체건설비용의 63%가 소요되어 열단가의 35~44%를

占하게 된다. 따라서 이경우 경제성을 갖도록 해결하는 方法으로 原子炉建設費만을 고려하는 것은 적당하지 못하다.

人口 100,000名의 도시에 대한 地域熱供給이 原子炉熱利用에서 가장 적합한 대상이므로 도시 근교에 건설되어 편리하게 運轉될 수 있도록 입지조건을 선택여지를 크게 한 200MW급 原子炉를 개발하는 것이 중요한 과제이다.

나. 熱供給시스템의 開發

産業利用에 관한 검토에서는 각 工場에서 이미 설치되어 사용하고 있는 열수송시스템을 전제로 하여 고려되었으며 熱供給單價는 工場入口端코스트로 평가하였다.

민생부문의 原子炉熱利用에 대해서는 地域熱供給시스템의 합리화가 原子炉熱利用의 경제성 개선에 있어서 앞으로 중요한 요소라고 생각되며 또한 社會的 制約이 있는 지역시스템의 합리화와 건설 그리고 도로, 공원 및 기타 공공시설의 이용에 적절한 조정이 이루어지는 것도 중요할 것이다.

다. PA의 實証

中小型輕水炉의 경우 비교적 새로 開發할 요소가 적으므로 重力落下式ECCS 등 일부분야에서의 약간의 테스트는 필요하지만 原子炉技術自體에 대한 實証테스트는 거의 필요없다.

그러나 만약 中小型輕水炉가 地域에어컨디셔닝은 물론 産業利用에서 일반공중과 직접 접촉하게 되면 中小型輕水炉는 實際稼動에 들어가기 전에 어떤 형태 또는 그 安全性과 안정된 운전을 實証할 必要가 있을 것이다.

外國의 경우에는 原子炉熱供給에 대한 실용 규모시스템개발에 앞서 1/10로 축소시킨 모형에서의 실증테스트가 수행되고 있다.

