

# 重水炉에 関한 第9次 JUICE會議

1972년부터 日本, 英國, 이탈리아, 카나다는 정보교환과 기술토론을 爲하여 重水減速沸騰輕水冷却炉의 開發에 関한 JUICE (Japan-United Kingdom-Italy-Canada-Exchange) Meeting을 개최하여 왔으며, 이 회의는 각국에서의 重水炉計劃開發에 크게 기여하였다.

금년 3월11일부터 12일까지 제9차 JUICE회의가 일본 동경에서 개최되었으며 특히 금년 회의에는 JUICE회원국 이외에 한국, 서독, 아르헨티나 등 3個국이 重水炉 開發을 爲해 참가하였다.

이번 회의의 중요주제는 1) 각국에서의 重水炉 역할, 2) 重水炉建設과 運轉經驗, 3) 重水炉技術의 開發이었다.

이번 회의에서는 과거 數年동안의 실제 운전 경험에 기초를 둔 重水炉 開發에 関한 많은 의견들이 發表되어 특히 유익하였으며 또한 各國의 연구개발기관으로부터 고위인사들이 참석하였다.

7個국에서 모두 10편의 논문이 발표되었다.

- 1) 일본에서 Fugen-HWR의 역할과 600MWe 實証炉의 設計—S. Sawai (PNC, 일본)
- 2) 캐나다에서의 重水減速原子炉(HWMR)에 대한 앞으로의 開發—J. Donnelly와 R.G. Hart (AECL, 캐나다)
- 3) Cirene計劃: 技術開發에서 얻은 경험—A. Villani (CNEN, 이탈리아)
- 4) 아르헨티나에서의 重水炉原電建設과 運轉經驗—J. O. Cosentino (CNEA, 아르헨티나)
- 5) 韓國에서의 重水炉計劃에 대한 Feasibility研究—金炳九 (KAERI, 韓國)

- 6) 캐나다에서의 CANDU建設과 運轉經驗—P. G. Campbell (Ontario Hydro), P. Amyot (Hydro Quebec), A. J. O'Conner (New Brunswick Power, 캐나다)
- 7) 1968~1982년까지의 Winfrith SGHWR 運轉經驗—B. Negus (UKAEA, 영국)
- 8) Winfrith SGHWR 지원에 대한 技術研究—J. Fell (UKAEA, 영국)
- 9) 압력용기형의 대형 重水炉 開發—U. Fischer (KWU, 서독)
- 10) Pu 핵연료의 Fugen-HWR 운전경험—M. Akebi (PNC, 일본)

發表内容を 요약하면 다음과 같다.

Sawai 씨 (일본)는 Fugen-HWR 프로젝트의 일반적인 개요를 설명하고 일본의 核燃料사이클 계획과 관련하여 Fugen-HWR의 역할을 강조하였다. 비등경수압력튜브형 原子炉인 Fugen-HWR은 Pu-MOX 핵연료를 使用하도록 특별히 設計되었으며 이로 인해 우라늄농축과 천연우라늄 수요감소를 목적으로 하고 있다.

또 Sawai씨는 1979년부터 성공적으로 운전되고 있는 原型炉 이후에 심취된 개선점에 대해 별도로 언급하면서 600MWe 實証Fugen-HWR 原電의 設計를 설명하였으며 설계원리, 경제성과 scaling up을 위한 개선점, 原型HWR과 輕水炉로부터 얻은 경험으로 수행된 변경, 發電所 layout과 原子炉設計, 안전계통, leak검출시스템에 대한 研究開發, MOX核燃料의 照射試驗등을 포함한 600MWe 實証炉의 技術開發에 關聯된 여러가지 문제들을 발표하였다.

Donnelly 씨 (캐나다)는 CANDU炉의 탁월한

성능은 주로 燃料로 천연우라늄을 선택하고, 냉각재와 감속재로 重水를 선택한 것과 같은 최초의 기본원리결정에 기인한다고 지적하면서, 이러한 기본원리선택이 과거 수년동안 CANDU 炉의 높은 가동율에 어떻게 기여하고 있는지를 설명하였다.

그리고 또 Donnelly씨가 언급한 또다른 중요한 점은 核燃料사이클 보존을 위한 CANDU 炉의 Pu와 Th 燃料 사용가능성이다. CANDU 炉는 경제성과 利用할 수 있는 資源에 따라 FBR을 보완하거나 완전하게 할 수 있다고 하면서 핵연료사이클을 보존하는 캐나다의 자원개발계획을 설명하였다.

Villani 박사(이탈리아)는 Cirene 開發計劃과 重水減速 천연우라늄燃料沸騰冷却压力 튜브型 原子炉인 40MWe 原型炉 設計의 개요를 설명하였다. Villani 박사는 이 原子炉에 채택된 여러가지 혁신중 2phase rod, 감속재레벨제어, 감속재에서 boron 농도조정 등 통상의 原子炉 가동중 조정되는 반응의 방법을 강조하였다. 2 phase rod 조정시스템의 기능은 poison된 2phase 혼합물의 변동하는 농도를 guide 튜브를 통하여 炉心으로 넣기 위함이다. 現在의 예정대로라면 Cirene 原子炉는 1983년에 運開될 것이다.

Cosentino 씨(아르헨티나)는 SIEMENS가 설계한 原型MZFR에 기초를 두고 경수로기술을 도입한 천연우라늄연료압력용기형중수로인 Atucha-1号機의 건설·운전경험을 발표하였다. 이 原子炉는 1974년에 운전이 시작되었으며 그동안 세계에서 가장 높은 이용율을 보이고 있다.

1983년에 運開가 기대되고 있는 두번째 原子炉 Embalse는 CANDU-PHW型 重水炉이다. 또 Cosentino씨는 현재 건설초기단계에 있으며 1987년에 運開를 예정하고 있는 두번째 압력용기형인 Atucha-2号機에서 특히 강조되고 있는 국내기술참여상황을 설명하였다.

金炳九博士(韓國)는 1978년에 KAERI와 AECL에 의해 수행된 캐나다·한국공동연구(JCKS)와 후속연구활동의 결과를 발표하였다.

JCKS는 CANDU技術의 한국 이전에 특히 중점을 두면서 한국에 900MWe CANDU-PHW (KC49) 原電 4基 도입에 대한 기술적, 경제적 feasibility 평가를 위해 수행되었다. 이 평가는 상업성이 증명된 BruceA 原電을 참고로 하여 KC49가 1980~1992년 사이에 建設되는 것으로 가정하였다. 설비제작과 연구개발지원을 포함한 KC49 建設에 최대로 가능한 국내기술참여가 고려되었다.

重水inventory를 포함한 전체 unit capital cost는 1978년 캐나다달러로 \$1,605/kWe로 산되었다.

Campbell 씨(캐나다)는 2명의 공동 발표자와 함께 CANDU 建設과 運轉에 대한 캐나다의 경험을 發表하였다. Campbell씨는 먼저 New Brunswick, Quebec, Ontario의 原電建設프로젝트現狀을 개괄적으로 설명하고, Ontario의 CANDU 炉 運轉結果를 소개하였다. Campbell씨의 발표요지는 다음과 같다.

1) NB Power는 1982년중에 Point Lepreau에 첫번째 CANDU 炉(630MWe)를 起動시킬 예정이며, 유능한 중·소규모 전력회사는 630MWe급 CANDU 炉의 완성을 성공적으로 관리하며 자금을 조달할 수 있을 것으로 고려된다. 또한 모든 비용을 포함한 코스트는 경쟁될 수 있고 믿을 수 있음이 미국전력회사들에 의해 증명되었다.

2) Hydro-Quebec이 소유할 첫번째 원전은 Gentilly 2号機(630MWe)로 1982년말경에 상업 운전에 들어갈 예정이다.

3) Ontario Hydro는 現在 10基의 CANDU 炉(전체 Net容量 5,248MWe)를 운전하고 있으며 Ontario 전력수요의 약 1/3에 해당된다. 그 외에 12基가 建設中이며 이 原電들은 1990년까지 전부 運轉에 들어갈 예정이다. 그렇게 되면 Ontario Hydro의 原電容量은 州 電力에너지수요의 65%를 공급하게 된다.

그리고 Campbell씨는 Ontario CANDU 炉에서의 우수한 운전결과를 설명하였다.

Negus씨(영국)는 냉각재로 輕水를, 감속재로 重水를 使用하는 100MWe出力의 direct사이클 압력튜브원자로인 Winfrith SGHWR의 중요부 품성능과 운전경험을 요약하여 발표하였다. 이 原電은 14년동안 가동되고 있으며 이러한 압력 튜브형 원자로에 대한 가능성을 성공적으로 실 증하였다.

Negus씨의 發表에는 發電所의 개요, 전반적 인 성능, 발전소 제어, 燃料要素經驗, 原子爐shut down시스템, 스팀drum검사, 압력튜브, 화학 적 제염 등을 포함하였다.

Fell씨(영국)는 Winfrith SGHWR지원에 대 한 技術研究를 발표하였다. 민간원자로개발계획 으로의 Winfrith SGHWR利用은 1978년에 끝 났지만, 기술작업의 계획은 압력용기와 압력튜 브형 원자로시스템에 관련된 정보제공을 위해 계속되고 있다. 가장 중요한 새로운 개선은 종 래의 36pin fuel element 대신 57pin fuel element를 도입한 것이며 이로인해 더욱 우수한 기계적 강도를 갖게되어 LOCA조건에서 증진 된 안전여유를 갖게 되었다. 또한 이 研究는 열 과도현상에 기인한 stress와 원자로냉각재흐름 을 모의한 환경에서 기계적 내구시험과 관련된 안전성 연구로 spray cooling heat transfer에 관한 새로운 실험을 포함하였다. Fell씨는 또한 crack연구, 초음파 및 과전류탐상시험기술에 대 해서도 설명하였다.

Fischer씨(서독)는최근에 완료된 압력용기형 대형중수동력로 개발에 관해 발표하였다. 이것 은 독일의 높은수준의 안전기준으로 내경 8m의 압력용기를 제작하는 것이 가능한 것에 기초를 두고 있다. 현재 도달된 수준은 다음과 같다.

1) 1,000MWe의 경수로와 동등한 에너지코 스트로 천연우라늄을 使用하는 重水爐

2) 약간 낮은 에너지코스트로 저농축(0.9~ 1.2%U-235) 연료를 使用하는 1,200MWe의 重 水爐

그리고 Fischer씨는 압력용기형 750MWe~ 1,200MWe重水爐의 개요를 설명하였다.

Akebi씨(일본)는 Pu MOX연료사용을 강조하 면서 지난 3년동안의 165MWe 原型Fugen-HW R의 운전경험을 발표하였다.

1) Fugen-HWR은 熱重水爐에 주로 Pu M OX연료를 使用한 첫번째였으며 지금까지 세번 再裝填되었다. 꺼낸 연료의 최대 연소도는 9700 MWD/T이며 연료손상은 없었다.

2) 이러한 型의 原子爐에서의 Pu연료 사용 은 냉각재void계수를 거의 zero로 감소시킴으 로서 原子爐에 우수한 안정성을 준다.

3) 이 原電에서의 경험은 중요 부품과 시스 템의 신뢰성을 실증하였다. 운전에서 경험한 많 은 문제점들은 重水爐에만 한하는 것들이 아니 었고, 필요한 보수작업이 순탄하게 수행되고 있 다.

또 Akebi씨는 반응도 제어, 노심연소관리, 플 랜트과도현상거동, 연료취급시스템, 核計裝, stress corrosion cracking 등과 같은 기술적 문 제에 대해서도 설명하였다.

제 9 차 JUICE회의의 마지막 session 에서는 “重水爐의 역할과 앞으로의 전망”이라는 주제로 panel discussion이 있었다. 의장에는 JAIF의 T. Yamada박사, 부의장은 PNC의 T. Haga박사 였으며 panelist들은 J. O. Cosentino(CNEA, 아르헨티나), R. G. Hart(AECL, 캐나다), U. F- ischer(KWU, 서독), A. Villani(CNEN, 이탈리아), S. Sawai(PNC, 일본), 전재풍(韓電, 韓國), J. Fell(UKAEA, 영국)이었다.

이 토론에서 거론된 중요사항은 다음과 같다.

1) 重水爐에서 더 큰 核燃料사이클flexibili ty와 더 효율적인 核燃料利用이 강조된다.

천연(과 농축)우라늄, 輕水爐에서의 使用後 核 燃料, Pu核燃料, Th核燃料가 optional核燃料싸 이클로 효과적으로 利用될 수 있다. Pu-recycle 은 실제로 일본의 Fugen-HWR에서 입증되었 다.

2) 天然우라늄의 사용은 핵연료이용에서 가 장 간단한 형태이며, CANDU시스템에 채택된 이 방식은 기술적, 경제적인 면에서 성공적임이 입증되었다. 서독에서 개발된 MZFR型的 重水

妒도 같은 원리의 핵연료이용에 기초를 두고 있으며, 이것은 아르헨티나에 건설된 原子妒에서 도 성공적이었다.

3) Pu연료의 사용은 비등경수냉각중수감속 원자로의 원자로제어성능을 효과적으로 개선시켰으며 이는 原型Fugen-HWR의 실제운전경험에서 증명되었다.

4) 重水妒의 운전결과는 가치있는 것이었다. 캐나다와 아르헨티나의 原子妒는 과거 수년간 세계에서 가장 좋은 운전기록을 달성하였다.

5) 국내기술참여가 현재 강조되고 있다. 대표적인 경우가 한국과 아르헨티나이다.

6) modular建設, 최소의 重水inventory의 capital cost, 유지와 보수에 중점을 둔 設計가 요구된다.

제 9 차 JUICE회의에는 Pu핵연료의 原型Fugen-HWR原電(165MWe)에 대한 산업시찰이 포함되어 있었다. 동경에서 서쪽으로 약 500km 떨어진 Fugen發電所 시찰에는 약 30여명이 참가하였다.

国 際 会 議 案 内

期 間	会 議 名	場 所	主 催
1982. 6. 6 ~ 6. 9	22nd Annual International Conference, Canadian Nuclear Association	Toronto, Canada	Canadian Nuclear Association
6. 6 ~ 6. 11	19th UNIPEDE International Congress 1982	Brussels, Belgium	UNIPEDE UNIPEDE
6. 20 ~ 6. 24	ForatomⅧ : Nuclear Energy-Europe and the World	Lausanne, Switzerland	Foratom Foratom
9. 1 ~ 9. 3	Uranium Institute : Seventh Annual Symposium	London, UK	Uranium Institute
9. 12 ~ 9. 16	International Conference on Radioactive Waste Management	Winnipeg, Canada	Canadian Nuclear Society
9. 13 ~ 9. 17	International Conference on the Nuclear Power Experience	Vienna, Austria	IAEA
9. 13 ~ 9. 17	Conference and Exhibition : "The Neutron and its Applications"	Cambridge, UK	AERE Harwell/Inst. of Physics
9. 16	Lecture by Franklin E. Coffmann(US Dept of Energy) on the Status of the Cleanup Operational at TMI	London, UK	BNES
9. 20 ~ 9. 24	Gas-cooled reactors today	Bristol, UK	BNES
10. 3 ~ 10. 6	Conference on radiation issues for the nuclear industry	New Orleans, USA	AIF
10. 14	Lecture by M. Levenson(Bechtel, USA) : "Light Water Reactor accidents-is there really a major public risk?"	London, UK	BNES
10. 17 ~ 10. 20	WNFM 9th Annual Meeting and International Conference on Nuclear Energy	Nice, France	World Nuclear Fuel Market
11. 11	Lecture by D. Peirson (Harwell) on environmental radioactive monitoring	London, UK	BNES
11. 14 ~ 11. 17	Atomic Industrial Forum Annual Conference	Washington, USA	AIF
11. 22 ~ 11. 26	International Symposium on Water chemistry and corrosion problems of nuclear reactor systems and components	Vienna, Austria	IAEA
12. 2	Lecture by Professor J. H. Fremlin on power production at minimum risk	London, UK	BNES
1983. 4. 11 ~ 4. 15	International Symposium on the Biological Effects of Low-level Radiation	Venice, Italy	IAEA
5. 2 ~ 5. 6	International Symposium on Operational Safety of Nuclear Power Plants	Marseilles, France	IAEA