

核燃料需給

現況과 展望

李 遇 公

動力資源部原子力發電課

1. 序言

70年代의 두차례에 걸친 石油波動으로 世界經濟는 에너지 消費時代에서 節約時代로 一大 轉換을 하였으며 化石資源이 貧困한 開發途上國이나 工業先進國들은 代替에너지의 開發을 活潑히 推進해 왔고 特히 代替에너지源으로서 가장 實用 普遍化된 核에너지의 利用開發에 主力해 왔다.

代替에너지源으로서는 風力·潮力·太陽力·地熱等이 있으나 今世紀 동안은 大量 利用可能性이 稀薄하며 原子力의 境遇에 있어서도 核拡散危險, 工業先進國들의 強力한 統制, 核事故, 對原子力 反對運動等 몇가지 制約要因이 있다. 石油波動 以後 資源保有國들의 에너지 政策 強化 및 高에너지價 維持로 에너지 資源은 重要한 政策課題로 浮刻되었고, 資源富國들도 未來 에너지 供給의 安定確保等으로 에너지 供給源의 多元化를 模索하고 있다.

國內 賦存資源이 貧困한 우리나라는 漸次 石油 依存度를 減少하고 에너지 供給源의 多元化를 爲한 電源開發 計劃을 推進하고 있으며 未來의 에너지源으로 가장 有力視되는 核에너지의 利用開發에 力點을 두고 있다.

核에너지의 利用增大에는 몇가지 制約要因이 있으나 未來의 에너지는 核에너지에 依存 해야할 것이므로 資源富國이나 強大國들의 嚴格한 統制下에서 核燃料의 長期 安定確保는 重要한 政策課題로 대두되고 있다.

2. 核燃料의 特性

原子力發電所에 使用되는 燃料은 우라늄이며, 우라늄中에서도 極小數의 構成源인 우라늄-235(U-235)가 現在의 原子力發電所 燃料로 使用된다.

우라늄을 原子力發電所에 燃料로 使用하기 爲하여는 原子炉의 種類에 따라 多少 다르지만 우라늄 鈹石을 精鍊하여 우라늄 精鈹을 만든다음 우라늄 精鈹을 氣體狀態로 變換하고 다시 우라늄-235의 濃度を 높이는 濃縮過程을 거쳐 原子炉에 裝填 可能한 核燃料 集合體로 成型加工 하여 原子炉內에 裝填된다. 原子炉에 裝填된 核燃料은 一定期間 동안 燃燒된 다음 原子炉 밖으로 꺼집어 내고 새로운 燃料을 裝填한다. 原子炉內에서 燃燒된 燃料안에는 우라늄과 플루토늄이 殘存하고 있으므로 이 殘存 우라늄과 플루토늄을 回收하기 爲하여는 再處理를 하게 되는데 이러한 一連의 過程을 核燃料 週期라고 한다.

우라늄은 大部分 原子力發電所의 燃料로 使用되지만 高濃縮 우라늄이나 플루토늄은 核武器의 原料物質이 되므로 우라늄 精鈹購買, 濃縮 및 再處理等 核燃料週期 確保에는 資源保有國 및 強大國들의 政治的 影響이 크게 作用하고 있으며 國際的으로도 많은 規制와 監視를 받고 있다.

3. 우라늄 精鈹

가. 우라늄 需給展望

우라늄의 需給展望은 우라늄의 埋藏量과 生産能力 및 予想 所要量을 比較評價 하므로 그 需給展望을 判斷할 수 있으나 核週期 戰略에 따라 크게 달라질 것이다.

우라늄資源은 두가지로 区分할 수 있는 데 그 하나는 既知의 資源으로서 確認埋藏 資源과 推定埋藏 資源 및 副產物資源으로 分類할 수 있으며 다른 하나는 予想資源으로서 地質學的 資料나 其他 科學的 資料는 아직 없으나 發見 可能性이 予想되는 資源이다.

現在 既知의 資源中 自由世界의 確認埋藏 量은 키로그램당 80\$ 以下가 1,850千噸이고, 80~130\$ 까지가 740千噸이며 推定埋藏量은 키로그램당 80\$ 以下가 1,480千噸, 80\$~130\$ 까지가 970千噸으로 確認 및 推定埋藏

量은 總 5,040千噸 程度이며, 副產物資源은 15,000千噸 程度로 推定되고 있다. 또한 一部에서는 予想資源을 7,000~15,000 千噸으로 推定하고 있다.

世界 우라늄의 予想需要는 1977年에는 年間 23千噸이었으나 世界經濟가 現狀態로 成長한다면 1980年의 41千噸에는 年間 約 178千噸의 所要가 予想된다.

世界經濟가 高度成長을 한다고 假定 한다면 1980 年頃에는 年間 約88千噸의 所要가 予想되고 1990年頃에는 年間 約 156千噸, 2,000年頃에는 年間 約 338千噸이 所要될 것으로 展望되며, 2000年까지의 累計所要量은 約 3,591千噸으로 推定된다. 그러나 上記의 境遇는 플루토늄(Pu)을 再循環 하지않는 境遇이며 既使用燃料을 再處理하여 Pu을 再循環하는 境遇, 2000年까지의 累計 所要量은 約 2,885千噸으로 2000年까지의 우라늄 需給에는 別問題가 없을것으로 展望된다. 2000年度 以後의 우라늄 需給展望은 世界經濟의 成長에 따른 原子力發電所의 增加추세와 既使

세계우라늄자원현황

단위: 천톤-U

국 명	확인매장량		추정매장량	
	30\$/Lb	50\$/Lb	30\$/Lb	50\$/Lb
미 국	531	177	773	385
호 주	290	8	47	6
남이연방	247	144	54	85
카 나 다	215	20	370	358
니 제	160	0	53	0
니미비아	117	16	30	23
브 라 질	74.2	0	90.1	0
불란서	39.6	15.7	26.2	20
가봉	37	0	—	—
기타	29.8	—	0.9	22.8
계	1,850	740	1,480	970.0

資料: 日本 原子力産業新聞1019호(80.3)

INFCE報告書(80.2)

用燃料의 再處理, 新型原子爐의 開發 및 우라늄 探查, 開發에의 投資等에 크게 左右될 것이다. 즉 輕水爐보다 約60倍 程度나 燃料 節減型인 高速增殖爐가 2000年度 前後에 世界市場에 登場하게 될 것이며 高速增殖爐의

登場에 따른 既使用燃料 再處理의 不可避性 과 托륨 使用 新型原子爐等의 開發展望을 勘案할때 2000年代 初까지의 核燃料需給은 無難할 것으로 期待된다.

世界우라늄需要展望

단위: 千噸-U

년도	Pu재순환하지 않음				Pu재순환			
	고도성장		현상태성장		고도성장		현상태성장	
	년 간	누 계	년 간	누 계	년 간	누 계	년 간	누 계
1977	23	23	23	23	23	23	23	23
1980	43	130	41	128	43	130	41	128
1985	88	477	71	423	82	464	65	411
1990	156	1,107	102	873	126	999	85	796
1995	234	2,127	134	1,477	181	1,797	104	1,278
2000	338	3,591	178	2,276	242	2,885	125	1,859

資料: ENERGY Vol. 2, No. 2, '79(OECD-NEA/IAEA 1977)

나. 우라늄 市場現況과 價格變動

世界的 우라늄 市場現況과 價格變動은 에너지波動과 原子力發電 增加 趨勢에 따라 크게 變化되어 왔다.

1973年 以前에는 우라늄 現物去來市場도 活氣가 없었고 우라늄 價格도 數年동안 파운드당 6 \$ (6/Lb-U₃O₈) 線을 맴돌았다. 그러나 '73년에 에너지波動 以後 世界各國의 原子力發電所 建設計劃을 大幅 增大하였고 이에 따른 우라늄 確保交涉이 活氣를 띄게 되어 새로운 우라늄市場의 登場과 더불어 우라늄 價格은 急上昇 하였다.

특히 日本이나 佛蘭西, 西獨等 國內資源이 貧困한 工業先進國들은 過去 數年동안 今後 約10年分의 自國內 所要量을 確保해 왔으며 原子力發電所의 運轉中, 建設中 또는 開發計劃을 가진 各國들도 우라늄資源 確保에 熾烈한 競爭을 하여왔다.

1978年까지 原子力發電 國家들은 우라늄의 確保가 重要한 政策課題中 하나였으며 우라늄 現物市場은 最大의 活氣속에 好況을 누려왔다.

1977年 4月 美國이 核武器 擴散防止를 爲하여 核擴散禁止法을 制定發表 하였고 工業先進國 및 資源保有國들도 核安全規制를 더욱 強化 하므로써 開發 途上國들은 原子力發電所의 建設을 遲延, 計劃縮少 또는 取消하게 되었고 1979年 3月 美國 Three Mile Island 原子力發電所 大事故 以後 캐나다, 佛蘭西, 西獨等 原子力發電所 販賣國을 除外한 他國家들은 原子力發電所 建設計劃을 大幅 縮小하여 왔다.

따라서 우라늄 需要도 当初 予想보다 훨씬 減少되어 市場도 沈滯되었으며 濠洲 및 캐나다의 우라늄 輸出再開, 새 埋藏量의 發見等으로 最近에는 우라늄 價格이 파운드당 30 \$ (\$30/Lb-U₃O₈)을 下廻하고 있으며 1980年代 初期까지는 供給이 需要를 超過할 것으로 予想된다. 最近 現物市場의 境遇 販賣者와 購買者는 市場形便을 觀望中에 있고 去來도 別로없는 反面 長期購買契約은 購買者가 有利한 位置에서 長期安定供給 保障에 供給者는 需要者 確保에 各各 努力하고 있다.

1980年代 中期에는 우리늄 市場의 好轉 과 함께 價格도 上昇할 것이며 資源 保有國들의

우리늄 輸出政策 強化와 더불어 다시 販賣者 于先市場으로 變貌해 갈것으로 予想된다.

우리늄 價格變動

단위: \$/Lb-U₃₀₈

年度	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
3	6.35	6.10	6.30	6.20	5.95	6.10	8.00	18.00	39.25	41.60	43.25	43.25	35.00
6	6.35	6.25	6.30	6.05	5.95	6.50	10.50	23.00	40.00	42.25	43.40	43.00	31.50
9	6.35	6.15	6.15	5.95	5.95	6.50	12.50	26.00	41.00	42.40	43.25	42.20	28.50
12	6.50	6.20	6.15	5.95	5.95	7.00	15.00	35.00	41.00	43.20	43.25	40.75	27.00

Nuclear Exchange Corp. 1980. 12.

다. 우리늄精鈾 確保現況 및 計劃

우리늄의 需要는 原子力開發計劃等 여러 가지 与件變動에 따라 크게 다르겠지만 에너지 資源이 極히 貧困한 우리나라는 原子力 主種의 電源開發을 推進하고 있으므로 未來의 所要 우리늄 確保 問題는 重大한 課題가 아닐수 없다. 따라서 우리나라는 우리늄의 長期 安定確保를 爲하여 供給源 多元化를 原則으로 하고 있으며 確保方法으로는

- 短期 現物購買
- 長期 供給契約
- 海外 우리늄探査 및 開發輸入
- 国内資源 開發活用
- 우리늄副産物의 抽出活用

等을 들 수 있다.

(1) 短期 現物購買

1980년까지의 所要分은 販賣者 優先与件 下에 大部分 短期購買에 依存해 왔으며 1974 年 부터 1980년까지의 所要分 全量과 1981年 및 1982年의 所要分中 一部는 短期購買로 現物市場에서 確保하였으나 앞으로는 長期 所要量中 所要量 變更에 따른 不足分이나 長期 供給契約에 依한 供給物量 不足分 確保만 現物市場에서 直接 購買할 것이다.

(2) 長期 供給契約

日本, 英國, 伊太利等の 大部分 電力会社 들은 物量의 事前 安定確保의 方法으로서 長期 供給契約을 爲主로 하고 있으며 供給者들의 供給契約 不履行時나 供給國의 政策上 供給中斷의 境遇에 對備하여 供給源 多元化를

原則으로 供給源을 多元化 하고 있다.

우리나라도 1978년부터 長期 供給契約을 積極 推進해 왔으며 캐나다, 濠洲, 佛蘭西等の 우리늄 会社들과 이미 상당량의 長期 供給契約을 締結 하였고 各國의 우리늄 会社들 과도 長期 供給契約을 繼續 推進하여 國家別, 会社別로 供給源을 多元化 하여 갈것이다.

(3) 探査 및 開發輸入

우리늄의 探査나 確認埋藏量 開發輸入은 莫大한 資本投資와 危險負擔이 있으나 우리나라와 같이 資源이 不足한 나라들은 우리늄의 長期 安全確保上 探査나 開發輸入은 必然인 課題가 아닐수 없다.

우리늄은 探査로부터 生産開始時까지는 約 10年이란 長期間이 所要되며 그 加工率도 10%程度로 大端히 낮기 때문에 探査着手에는 政策的인 配慮가 있지 않으면 안된다.

最近 數年동안 工業先進國이나 資源貧國 들은 이 未來의 에너지 資源 確保를 爲해 海外 우리늄 探査 및 開發에 많은 投資를 해왔 으며 資源富國들도 우리늄 探査및 開發은 積極 推進해 왔다. 우리나라는 1976년에 美國 에 앤슈츠(Anschutz)社 및 自由中國과 함께 南美·과라과이에 우리늄 共同探査를 着手, 現在 探査 進行中에 있으며 지난해 4月에는 佛蘭西의 코제마(COGEMA)社와 가봉國의 우리늄 共同探査에 着手한바 있고, 濠洲, 美國, 캐나다 및 아프리카 諸國等 우리늄資源 賦存國에서의 探査開發 및 確認埋藏量 開發 等 우리늄 探査開發을 繼續 推進하고 있다.

(4) 国内資源 開發

国内 우라늄 資源은 槐山 및 錦山一帶에 主로 埋藏되어 있으며 現在까지 確認된 埋藏量은 約 7,500噸-U₃O₈ 程度로 少量이며 品位도 約 0.04%로 상당히 낮기 때문에 經濟性이 不利하여 아직은 開發할 價值가 없으나 1990年代 後半期에는 開發 可能할 것으로 期待된다.

(5) 其他

其他 우라늄의 確保方法으로는 肥料의 原料인 磷鉍石等 他資源의 副産物로서 우라늄을 抽出 生産하며 特히 磷鉍石으로부터 우라늄 抽出方法은 先進 外國에서 오래전부터 利用되고 있고 우리나라도 現在 試驗設備가 稼動中에 있다.

海水로 부터의 우라늄 抽出法도 活潑히 推進되고 있으며 英國, 日本等에서 研究가 相當히 進展되고 있다.

4. 우라늄 變換

現在 自由世界의 우라늄 變換設備는 約 50,000噸-U 으로 現需要 充足에는 充分하며 1985년에는 年間 約67,000噸-U의 變換能力을 갖게될 것으로 展望되고 設備 保有者들이 繼續的으로 設備를 擴張해 갈것이므로 變換 需給上 別問題가 없을 것이다.

變換設備의 技術은 이미 開發報給되어 있고 設備 投資費도 많이 所要되지 않으며 核 安全規制上 別다른 制限條件도 없으므로 設備의 國産化에는 別問題가 없으나 變換設備의 國産化는 濃縮設備의 國産化가 並行되어야 經濟的 利點이 있으므로 變換設備만의 國産化는 別意味가 없다.

우라늄의 濃縮이 不必要한 重水型原子爐의 境遇에 있어서도 變換設備 國産化는 成型 加工 設備의 國産化가 並行 되어야 經濟的 利點이 있다.

그러므로 變換設備의 國産化는 国内資源을 活用한다 하더라도 輸送上의 經濟性이 充分히 考慮되어야 할 것이다.

自由世界우라늄變換設備現況단위: 噸-U

会社名	年度	1980	1985
Allied Chemical	(美)	14,000	14,000
BNFL	(英)	8,250	10,450
Comurhex	(仏)	12,100	16,500
ELDORADO	(加)	6,000	16,000
Kerr Mc Gee	(美)	10,000	10,000
計		50,350	66,950

자료: C. Allday, BNFL, Foratom, Hamburg, May 1979

5. 우라늄 濃縮

우라늄 濃縮設備는 核武器 非擴散의 側面에서 嚴格한 安全規制를 받고 있기 때문에 設備의 國産化는 現段階에서는 不可能한 實情이며 濃縮關聯 技術도 非公開的이고 移轉도 制限되어 있다.

또한 濃縮設備의 建設에는 莫大한 設備投資費가 所要되고 設備의 運營에도 많은 電力이 所要되므로 國産化는 더욱 어려운 形便이다.

우라늄 商用濃縮設備는 現在 美國, 佛蘭西 英國等이 保有하고 있으나 英國은 設備容量이 적으므로 共同投資國에만 供給하고 있고 佛蘭西는 最近에 生産開始 하였으므로 現在까지의 우라늄 濃縮供給은 主로 美國에 依存해 왔다. 그러나 美國 및 佛蘭西 共히 濃縮 우라늄 所要時期 8~10年前에 濃縮契約을 締結 하여야 하며 契約 締結時 莫大한 着手金까지 支拂해야만 된다.

自由世界의 우라늄 濃縮設備容量은 1980 年의 17,020噸-SWU에서 1,990년에는 70,470噸-SWU, 1,995년에는 年間 87,920 噸-SWU의 設備能力을 갖게될 것이므로 需要供給에는 別問題가 없을 것으로 展望되며 또한 各國들이 漸次 濃縮設備를 保有하게 될 것이다.

우리나라는 1,990년에 竣工 하게될 原子力 12号機까지는 이미 美國 및 佛蘭西와 各各 30

世界濃縮設備現況

단위 : 千吨SWU

国 名	設 備 名	濃縮方法	設 備 容 量		
			80	85	90
美 国	D O E	気体拡散	25.0	27.3	27.3
		圓心分離			3.3
佛 蘭 西	EURODIF	気体拡散	6.3	10.8	10.8
	COREDIF	〃			2.5
英 国	URENCO	圓心分離	0.6	1.5	4.0
日 本	P N C	〃	0.02	0.35	1.05
南 阿	U K R O	Nozzle	0.06	0.2~0.3	0.2~0.3
브 라 질	Nuclear Mustep	〃		0.25	0.25
濠 洲		圓心分離		0.3	0.3
카 나 다		〃			6.0
소 련		〃	8	10	10
計			39.98	50.75	65.75

※ 자료 : NAC Fuel Trac(80.7)

年間(佛蘭西는 10年)의 濃縮契約이 締結되어 있고 原子力 後続機에 對하여는 原子炉 供給者(供給国)가 濃縮供給을 義務化 하도록 하고 있다.

濃縮供給의 安定確保를 爲하여 美国, 佛蘭西等 濃縮設備 保有国들과 供給源 多元化를 原則으로 推進할 方針이며 長期 濃縮需要를 감안 濃縮設備 技資支分の 讓受, 設備의 国産化等을 細部的으로 檢討하여 長期 綜合對策을 樹立해 나가야 할 것이다.

6. 우라늄 成型加工

우라늄의 成型加工設備는 世界 各国에서 多數의 設備를 保有하고 있으며 特히 原子炉 製作会社들은 大部分이 加工設備를 保有하고 있어 需給上의 問題는 없을 것으로 展望되고 所要時期 1~2年前 契約으로 充分할 것이다.

우라늄 成型加工 技術은 普遍化 되어 있고 또한 核安全規制 対象施設이 아니므로 設備의 国産化도 可能하다.

우리나라도 核燃料 週期的 長期 安定確保의 一環으로 成型加工 設備의 国産化를 推進

世界成型加工設備現況

国 名	会 社 名	生産能力	備考
美 国	C. E	150吨/年	PWR
	G. E	600	LWR
	W. H	750	PWR
	GUNF Crop.	300	LWR
	B & W	500	〃
	其他 5個社	?	
英 国	BNFL	?	AGR
	KRT	100	BWR
西 独	RBG	360	PWR
	CICAF	?	BWR
佛	CERCA	100	PWR
	伊 太 利	COREN	50
스 웨 덴	其他 2個社	?	
	ASEA-ATOM	350	BWR
벨 지 음	MMN	200	LWR
	日 本	JNF CO	490
Mitsubishi Nuclear.		420	PWR
Nuclear Fuel Ind.		?	
印 度	Nuclear Fuel Complex	?	
네델란드	Inter Fuel	?	

하고 있으며 1980年代 後半期에는 우리나라

世界の再処理設備現況

国名	設備名	燃料種類	容量(吨/年)	備考
벨지움	Eurochemic	LWR ≤ 5%	7.5	
	Dessel-Mol	MTR ≤ 93%	1.25	
佛	La Hauge Hao	Oxide	?	
西獨	WAK	LWR	35	
日本	PNC Tokai	LWR	210	
印度	Trombay	U-metal	30	
	Tarapur	Oxide	100	
美國	—	—	—	商用없음

자료 : INFCE(80.2)

도 우라늄 再變換을 包含한 成型加工 設備를 保有하게 될 것이다.

7. 既使用 核燃料의 再處理

既使用 核燃料의 再處理는 核武器 拡散과 直結되는 重要한 問題 이므로 強大國들이나 資本 保有國들로부터 強力한 統制를 받고 있으며 再處理에 關한 技術이나 施設의 移轉은 禁止 乃至는 制限하고 있으므로 1980年代末까지는 既使用 核燃料의 貯藏이 不可避한 實情이다.

再處理設備는 濃縮設備와 함께 몇몇 國家에 局限되어 있고 再處理 設備規模도 需要에 應선 미치지 못한다.

國際 原子力關係 會議에서도 核에너지의 必要性은 充分히 認定하고 있으나 核擴散의 危險을 憂慮하고 있어 世界 各國들은 再處理의 展望을 觀望 하고만 있다.

우리나라는 既使用燃料의 長期貯藏 不可避性을 考慮하여 各發電所 마다 10年分 以上の 既使用燃料 貯藏施設을 갖추고 있으며 適當한 時期에는 再處理를 하게 될 것이다.

既使用燃料의 再處理는 核燃料의 安定供給을 爲하여 必要한 것이며 高速增殖爐의 登場과 더불어 再處理 設備의 商用化는 不可避할 것이므로 우리나라도 再處理設備의 國產化를 爲한 研究開發을 積極 推進해야 할 것이다.

8. 結論

에너지의 需要充足과 에너지의 安定供給을 爲하여는 代替에너지의 開發이 必要하며 代替에너지 中에서도 가장 實用化된 確實한 에너지는 原子力으로 2000年度 初期 까지의 에너지供給은 核에너지에 크게 依存해야 할 것이다.

核에너지의 利用開發에는 몇가지의 制約要因이 있지만 보다더 重要한 것은 核燃料週期의 安定的 確保에 있다.

우라늄精鉍은 確認埋藏量 및 推定埋藏量을 勘案하면 2000年度 初期까지는 需給上 別問題가 없을 것이며 우라늄 變換이나 成型加工도 供給이 需要를 充足히 上廻할 것이다.

우라늄의 濃縮이나 再處理는 當分間 嚴格한 制約을 받겠지만 長期 核燃料의 安定供給을 爲하여 既使用 核燃料의 再處理가 不可避하게 될 것이므로 高速增殖爐의 登場과 함께 核擴散 危險을 最少化 하는 範圍內에서 濃縮 및 再處理 設備의 商用化 및 移轉이 達成될 것으로 展望된다.

우리나라도 高速增殖爐等 新型爐의 開發 및 導入을 爲한 先進技術의 導入과 함께 核燃料의 變換, 濃縮, 成型加工 및 再處理等 核燃料 週期 國產化를 爲한 長期的 戰略을 樹立 推進해 가야할 것이다.