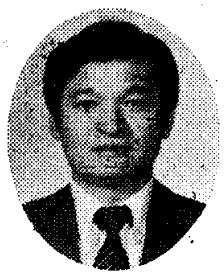
<에너지 問題 特集>

資源의 動的 槪念 : Resources와 Reserves



金 潛 基
(前 科學技術處 國立科學館長)
(現 文敎部次官)

1. 序 言

우리나라는 1962年부터 4次에 걸쳐 5個年 經濟開發計劃을 斷絶없이 遂行해 오는 동안 工業化를 通한 産業構造의 近代化 및 高度化를 恒常 가장 重要한 目標로 삼아 왔다. 世界銀行의 1979年度 世界開發報告書(World Development Report)에 따르면 우리나라 工業部門의 年平均成長率은 1960年에서 1970年까지는 17.2%, 1970年에서 1976年까지는 17.1%로 1960年代는 아프리카의 자이레와 이란, 1970年代에는 콩고와 예멘을 除外하고는 가장 높은 成長率을 記錄하고 있다. 1,2次 5個年計劃期間中의 輕工業化에서 3次 5個年計劃期間부터 政策의 力點을 밭기 始作한 重化學工業의 建設은 우리나라의 資源, 特히 鑛物·에너지資源의 需要를 急激히 擴大시키기 始作했으며, 따라서 國內資源의 限界는 너무나 分明해지게 되었다.

重化學工業化의 推進은 바로 重化學工業 原材料(金屬系 및 化學系原材料)의 比重을 增大시키고 輕工業 原材料(繊維系, 木材系, 食料系)의 比重을 相對的으로 激減시키는 추세를 가져오게 되는 것이다. 이와 같은 原材料需要의 量的 擴大와 아울러 需要패턴의 變化는 鑛物 및 에너지 資源問題를 重化學工業 推進에 있어서 技術 資本과 함께 核心的 課題로 登場시켰다. 從來의 國內賦存資源의 開發·活用이라는 문제로부터 이제는 工業化推進을 爲한 良質의 低價資源을 安定的으로 供給한다는 問題가 緊迫한 課題로 대두되게 된 것이다. 이와 같은 資源需要의 增大現象에 1973年의 에너지 危機를 前後한 所謂 資源내쇼날리즘의 대두는 더욱 더 問題의 深刻性을 더해 주었다고 해도 過言이 아닐 것이다. 이와 같은 國內需要에 따른 海外資源의 確保策으로서 海外資源의 探査開發이 政府와 産業界에서 檢討되기 始作했으며 相當數의 企業들이 具體的인 措置를 取했거나 할 段階에 이르렀다. 그럼에도 불구하고 資源 特히 鑛物資源의 探査 및 開發에 關한 意思決定에 있어 가장 重要한 資源에 對한 基本的인 理解가 不足하거나 不適當한 例를 흔히 찾아볼 수 있다. 本考는 資源에 對한 理解를 돕는 뜻에서 資源의 動態的 槪念에 對한 考察을 資源의 各種 特性을 分析하면서 試圖하고자 한다.

2. Resources와 Reserves의 槪念

資源의 有限性 혹은 不足問題(Resource Scarcity)는 로마클럽의 要請에 依해 美國 M.I.T.의 Dennis L. Meadows를 中心으로 한 시스템專門家集團에 依해 作成되어 1972年에 發表된 「成長의 限界」(Limits to Growth)報告書처럼 劇的으로 알려진 일이 드물다. 그러나 工業成長의 繼續이 가져다 줄 資源不足事態에 관한 豫測은 이를 對備하기 爲한 Zero Growth 處方에 對한 支持를 廣範圍하게 持續시키지는 못하였다 하더라도 적어

* 이 원고는 본인이 1978年 11월 7일 서울대학교 經營大學의 「國際資源論」 시간에 조동성교수의 초청으로 강연한 것을 정리한 것이다.

도 資源에 對한 새로운 認識과 槪念의 定立을 促求했다고 하겠다.

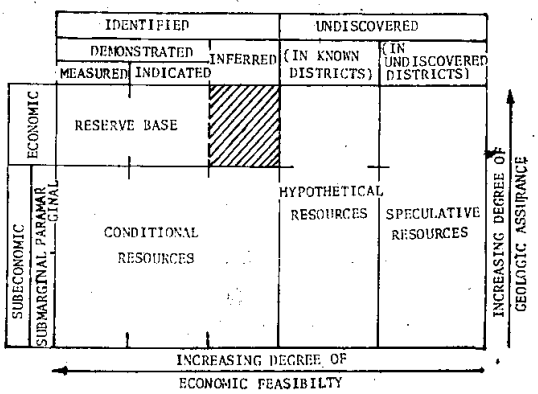
韓國動亂이 일어난 即後, 美國의 트루만 大統領은 大統領資源政策 特別委員會(President's Materials Policy Commission)를 設立하고 이 委員會로 하여금 共產主義로부터의 自由世界 保護를 爲한 各種 資源에 對한 評價를 위촉했다. 이 委員會가 最終的으로 提出한 報告書가 "Resources for Freedom"으로서 이 報告書는 資源의 絶對的인 枯渴, 即 running-out 槪念보다는 "concept of resource availability *at a cost*"라는 動態的인 槪念을 採擇함으로써 資源評價의 새로운 局面을 强調하게 되었다.

鑛物資源의 評價에 있어서 가장 根本的인 槪念은 Resources와 Reserves의 區分에서 出發한다. 가장 重要한 區分의 基準은 現在의 經濟與件下에서의 利用可能性(Availability)이다. 埋藏量(Reserves)이라 함은 鑛物을 含有하는 岩石(Mineral-bearing rock)이면서 동시에 인류에게 알려졌거나 確認된 鑛床으로 現在의 技術과 現經濟與件으로 그것을 抽出할 수 있는 資源을 指稱하는데 反해, Resources는 Reserves를 包含하고 있고 또한 인류에게 알려진 鑛床이긴 하지만 現在의 技術 또는 現經濟與件下에서는 鑛物抽出이 不可能한 것과 비록 現在는 發見되지는 않았지만 賦存할 것으로 類推되는 것을 다 包含한다. 그래서 Resources는 숲속의 새(birds in the bush)格인 것이며, Reserves는 손안의 새(birds in hand)格인 것이다. Reserves가 銀行通帳에 있는 預金과 其他 流動資源을 나타내는 것이라면 Resources는 그것 뿐만 아니라 平生 豫想되는 各種 豫想收益을 모두 合한 것과 比較될 수 있을 것이다.

美國 國立地質調査所는 鑛物資源을 첫째로 賦存의 確實性程度(degree of certainty of existence)와 둘째로 經濟的 抽出可能性(feasibility of economic recovery)을 基準으로 다음과 같이 區分하고 있다.〈圖 1〉

그래서 潛在的 資源(potential resources)이라 함은 通常的으로 Conditional, Hypothetical, 그리고 Speculative resources를 모두 合쳐서 通稱하는데, 條件附資源(Conditional resources)은 그중

〈■ 1〉 Classification of Resources



에서도 經濟的 技術的 與件만 맞으면 그 賦存自體는 알려진 것이기 때문에 금방이라도 利用可能한 資源인데 反해, Hypothetical resources는 鑛床(Ore deposit)의 賦存이 이미 알려지지 않은 아직까지 未知의 地域에서의 假想할 수 있는 資源을 말한다. 이와 같은 區分은 實際로 相當히 有用한 區分으로서 先進國의 國立地質調査所에서는 이와 유사한 性格의 基準으로 自國內에서 뿐만 아니라, 他國의 資源을 評價한 資料들을 많이 保有하고 있어서 그와 같은 資料를 利用할 때 이와 같은 區分의 基本論理를 理解함이 알려진 資料의 解釋에 크게 도움이 된다.

參考로 濠洲의 主要鑛物의 Resources, Reserves, 그리고 生產實績과 世界全體의 資料와의 對比表를 濠洲聯邦政府의 鑛物資源局統計를 引用하면 다음과 같다〈表 1〉.

埋藏量(Reserves) 區分에 있어서는 大體的으로 各 나라 또는 各 會社別로 各種 區分된 埋藏量의 算出基礎를 明確히 해둔 Code를 가지고 있다. 英國의 石炭埋藏量算出의 根據인 Code for Calculating and Reporting Coal Reserves도 그 例이며 우리나라도 이를 기반으로 하는 標準方式을 採擇하고 있는 것이다.

埋藏量區分方法으로서는 美國에서는 主로 計測된 埋藏量(Measured reserve), 認知된 埋藏量(Indicated reserve), 그리고 類推된 埋藏量(Inferred reserve) 세가지를 많이 使用하는데 比해, 다른 나라에서는 確定埋藏量(Proven reserve), 推定埋藏量(Probable reserve),그리고 豫想埋藏

〈表 1〉 Australia's Reserves and Resources of Major Minerals Compared with Those of the World

	Australia							World		
	Economic Resources		Subeconomic Resources			Total Identified Resource	Production 1975	Reserves	Total Resources	Production 1975
	Demonstrated Reserves	Inferred Reserves	Paramarginal Resources	Submarginal Resources	Undifferentiated					
Antimony (10^3 tonnes Sb)	68.60	14.19	30.88	—	—	113.67	2.21	4,300.0	9,380.0	78.0
Bauxite(10^9 tonnes)	2.698	1.74	1.895	0.345	—	6.678	0.021	17.0	30.0	0.079
Black Coal (10^9 tonnes)							0.061			2.258
in situ	36.1	>160.0	—	—		>196.1		(2)8,130.0	÷	
recoverable	20.2	n.a.	—	—				(3) 431.0		
Brown Coal (10^9 tonnes)							0.028			0.855
in situ	67.1	54.6	—	—		>121.8		(2)2,624.0	÷	
recoverable	31.0	n.a.	—	—				(3) 160.0		
Copper(10^6 tonnes Cu)	6.28	0.38	1.91	0.50	—	9.07	0.22	450.0	n.a.	7.35
Ilmenite(10^6 tonnes)	50.50	0.70	—	—	12.36	63.56	0.991	520.0	3,000.0	3.2
Iron Ore(10^9 tonnes)	17.8	—	17.2	>6,400.0	—	>6,435.0	0.098	259.0	÷	0.875
Lead(10^4 tonnes Pb)	16.68	—	7.90	1.81	—	26.39	0.41	145.0	1,506.0	3.55
Manganese ore (10^6 tonnes)	490.0	—	—	—	401.0	891.0	1.56	5,357.0	n.a.	22.61
Monazite(10^3 tonnes)	432.0	5.0	—	—	54.0	491.0	4.2	10,000.0	n.a.	12.0
Nickel(10^6 tonnes Ni)	1.82	—	3.73	1.88	—	7.43	0.076	54.0	100.0	0.76
Petroleum Crude Oil (10^6m^3)	212.61	—	—	—	25.48	328.09	23.83	104,724.0	n.a.	3,083.0
Natural Gas (10^9m^3)	321.07	—	—	—	515.97	837.04	5.026	62,872.0	n.a.	1,355.0
Phosphate (10^6 tonnes P)	151.80	52.89	—	141.36	—	346.05	0.017	1,848.0	8,752.0	11.39
Rutile(10^6 tonnes)	9.83	0.28	—	—	1.44	11.55	0.348	14.7	42.0	0.366
Tungsten (10^3 tonnes WO_3)	106.0	162.0	—	125.0	—	393.0	1.9	2,160.0	4,285.0	47.7
Uranium (10^3 tonnes U)	237.0	42.0	n.a.	n.a.	n.a.	279.0	±	1,843.0	3,485.0	19.0
Zinc(10^6 tonnes Zn)	24.32	—	18.22	3.39	—	45.93	0.50	144.0	4,680.0	6.02
Zircon(10^6 tonnes)	15.56	0.25	—	—	3.03	18.84	0.382	36.8	40.0	0.510

資料 : The Australian Bureau of Mineral Resources, 1977.

量(Possible reserve) 等으로 區分하고 있으나, 生産스케듈링을 爲해서 生産現場에서는 간혹 開發된 埋藏量(Developed or blocked-out reserve), 또는 部分的으로 開發된 埋藏量(Partially developed reserve)等의 區分으로 生産에 着手할 수 있는 坑道開發與件을 참작해서 分類하는 경우도 많다.

計測된 埋藏量은 量과 品位가 알려진 埋藏量인데 反해, 認知 또는 推定埋藏量은 標本抽出 結果 部分的으로 量과 品位가 알려진 埋藏量을 말한다. 그러나 類推된 埋藏量은 地域的으로 限定된 標本抽出에서 얻어지는 情報로부터 豫想되는 埋藏量으로서 그 量이나 形態나 品位의 신빙성이 희박한 자료에서 類推한 埋藏量인 것이다. 類推된 埋藏量이 認知된 埋藏量으로 되려면 相當한 量의 地域規模의 探査가 先行되어야 하는데 比해, 認知된 埋藏量에서 計測된 埋藏量으로 移行시키는데는 精密한 局部探査에다 坑道굴착 및 精密試錐가 普通 隨伴되어야 하는 것이다.

鑛物資源에 관한 投資意思決定에는 이와 같이 不確實性이 包含되는 複雜하고 豫測이 어려운

意思決定이 要求되기 때문에 Jackson Grayson 教授를 비롯한 여러 學者들이 所謂 不確實性下의 意思決定(decisions under uncertainty)이라는 새로운 장르開發을 하게된 것이다.

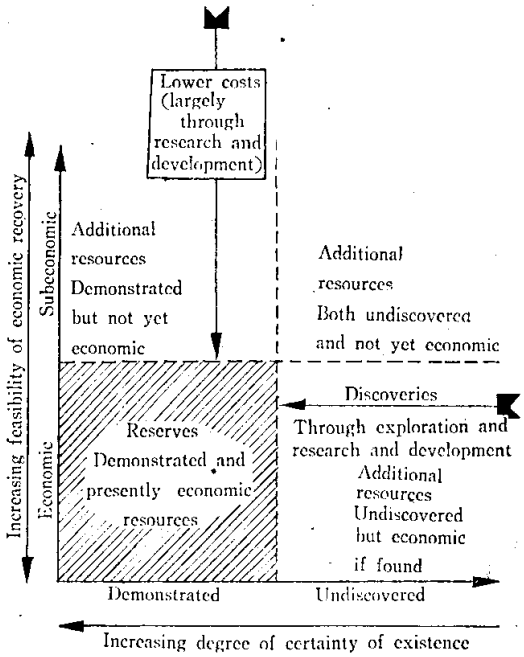
Resources와 Reserves의 區別도 重要하지만 千差萬別의 Reserve內의 區分과 그 含蓄性을 理解함은 더욱 必要한 것이다.

3. Reserves로의 轉換에 따른 要因

資源開發의 가장 重要한 課題는 Resources를 얼마만큼 빨리, 그리고 어떤 方法으로 Reserves化하느냐는 것이다. 上述한 바와 같이 Resources의 Reserves化에는 賦存確實性을 增大시키는 探査가 進行되어야 하는 한편, 經濟的인 採掘, 抽出, 利用可能性도 增大되어져야만 한다. 經濟的 利用可能性을 增大시킬 수 있는 要因으로서는 目的하는 主生產物 및 副生產物의 價格, 投資財源의 調達條件 및 方法, 輸送條件, 그리고 가끔 決定的인 要因으로 登場하는 探査(exploration), 採取(exploitation), 抽出精鍊(extraction)의 技術問題이다.

Jean Paul Drolet는 Resources에서 Reserves化하는데 關聯된 가장 重要한 要因으로서 探査와 研究開發을 通한 技術의 進步를 들고 있다. 未發見된 資源을 發見하는 데는 물론 生產費用의 低下를 통하여 經濟性이 微弱한 資源을 經濟性이

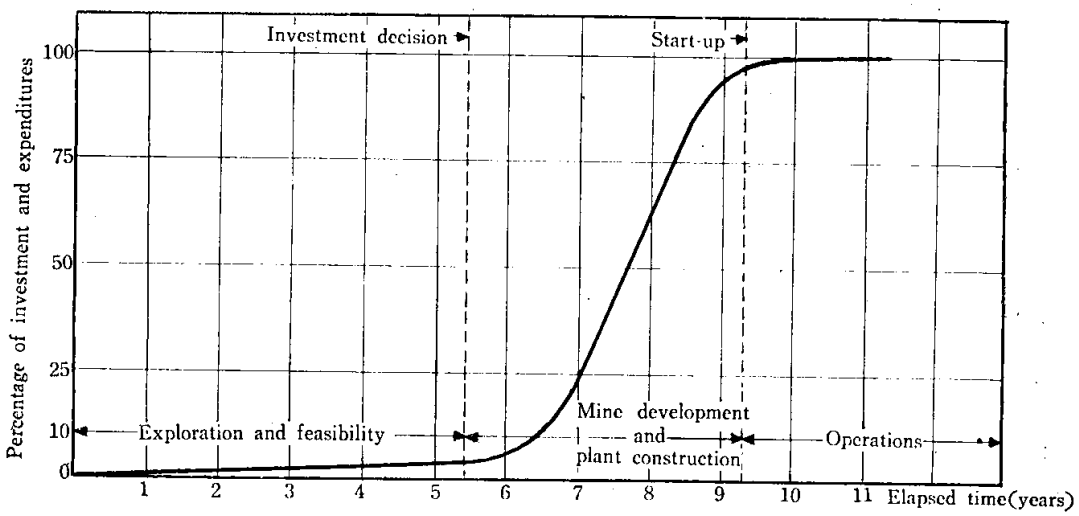
〈圖 2〉 Classification of Mineral Resources



높은 資源으로 變化시키는 데는 技術開發이 가장 중요한 變數라는 것을 다음 〈圖 2〉를 통해 提示하고 있다.

世界銀行의 研究發刊物인 「鑛業과 開發途上國」(The Mining Industry and the Developing Countries)에 발표된 最近의 典型的인 大規模 鑛業프로젝트의 探査開發, 意思決定時期, 鑛山開發 및

〈圖 3〉 Development and Expenditure Chart for a Modern Large-scale Mining Project



플랜트建設, 그리고 操業始作時期別 所要期間 및 資金投入配分을 보면 앞 페이지의 〈圖 3〉과 같은데, 여기서 보면 探査와 妥當性調査에서부터 開發意思決定時期까지 5年 以上의 時間과 總開發投資의 5% 가량이 投入됨을 알 수 있다.

〈表 2〉 Typical Capital Investment Requirements for Mining and Processing Facilities

Mineral and facility	Capital investment per metric ton of annual output (U.S. dollars)
Aluminum	
Bauxite mining	25~30
Aluminum refinery	200~300
Aluminum smelter	1,000~1,500
Copper	
Mining, beneficiating, smelting, and refining	3,000~5,000
Lead	
Smelter expansion	100~500
Nickel	
Mining and smelting	8,000~15,000
Zinc	
Blast furnace and electrolytic refining expansion	300~700

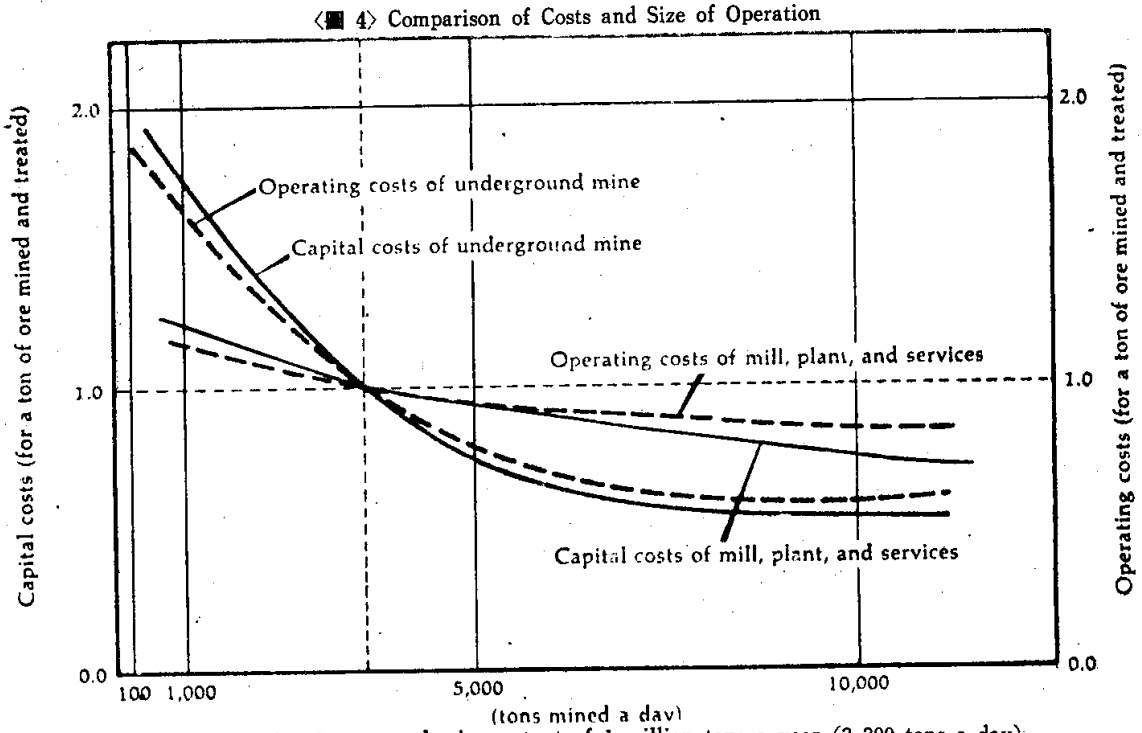
1975年의 경우 主要 金屬鑛 開發프로젝트의 年生產能力 比當 投資規模를 John Tilton教授는 다음과 같이 推定했다.

勿論 이 數字들은 케이스마다 달라질 것이 分明하지만 最小限 Order of magnitude는 提示한다고 볼 수 있으며, 이와 같은 理由 때문에 資源開發投資는 徹底한 事業評價가 必要하다고 하겠다. 鑛業프로젝트에서처럼 規模의 經濟(economy of scale) 問題가 크게 그리고 特殊하게 作用하는 產業은 別로 없다. 鑛業에 있어서는 subeconomic한 資源이 生產規模의 擴大로 經濟性이 있는 資源化되는 경우가 大端히 흔하다.

그래서 結果的으로 製造業에서 볼 수 있는 規模의 經濟로 因한 生產費 低下만이 아니라 資源化되지 못할 資源이 經濟的인 資源이 되기 때문에 Wasting Assets라고 하는 鑛物資源을 實質的으로 增量시키는 創造的 役割을 하게된다.

Bosson과 Varon博士는 規模의 變化에 따른 投資 및 稼働費用 變化를 推算하고 〈圖 4〉로 表示했는데 裝置工業에서의 規模 擴大時에 固定投資의 算出時 常用하는 six-tenths factor 効果뿐만 아니라 稼動費用의 節減도 相當함을 볼 수 있다.

〈圖 4〉 Comparison of Costs and Size of Operation

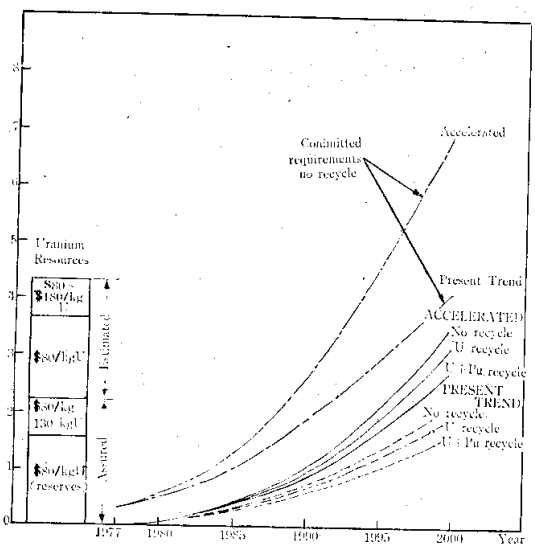


Note: Cost base of unity: annual mine output of 1 million tons a year (3,300 tons a day).

鑛産物 價格에 따른 資源베이스의 變化는 大端히 敏感한 것이 鑛業의 特殊性으로서 製造業의 商品價格 變動幅이 比較的 小幅인데 反해, 鑛産物의 價格變動幅은 單位가 다를 程度로 大幅인 경우가 흔할 뿐더러 그와 같은 變動頻度가 大端히 많다. 그뿐 아니라 價格上昇의 要因이 生産物의 增減에 따른 程度가 아니라 投機性이 많고 政治軍事的 考慮마저 크게 影響을 주는 例가 흔하다. 韓國動亂時의 重石이 그랬고 2次大戰直前의 金이나 最近의 金값, 1973年과 今年의 油價引上等이 그 例이다. 한편 어떤 鑛産物의 價格變動은 다른 鑛産物의 價格變動을 連鎖的으로 일으키는 경우가 許多하다. 石油價의 引上으로 原子力發電에 對한 需要가 擴大되자 原子力 發電用 우라늄 價格이 急上昇했을 뿐만 아니라 그와 같은 上昇이 核燃料用 우라늄資源의 擴大現象을 가져오게 되었다. OECD의 原子力에너지 專門家들이 1978년에 作成한 報告書에 依하면 現在의 原子力發電의 成長率에 우라늄核燃料資源規模가 우라늄價格의 大幅 上昇을 前提하더라도 西紀 2000年代에 가서는 不足해진다고 한다. 이와 같은 推算은 原子力發電 技術의 變革, 例를 들면 核燃料效率이 60餘倍나 더 좋다는 高速增殖爐의 開發 없이는 資源의 缺乏으로 因한 심각한 問題點을 해결할 수 없음을 暗示하는 것이다. 더우기 일단 使用한 核燃料를 再處理하는 것은 再處理工程에서 나오는 풀루토늄으로 因한 核擴散 危險 때문에 國際的으로 積極的으로 抑制를 繼續할 경우는 問題는 더욱 심각해짐을 다음 〈圖 5〉에서 알 수 있다.

〈圖 5〉 World Cumulative Uranium Requirements (1977~2000)

Cumulative Uranium Requirements(10^6tonnes U)



* Source: A Report by an Expert Group of OECD Neuclear Energy Agency, 2. 1978, OECD.

資源探査面에서도 從來의 露出된 鑛床의 探査에서 全혀 地表에 露出되지 않은 鑛床을 찾아냄으로써 새로운 資源을 確保하고 있는 例는 世界到處에서 볼 수 있으며, 멀지 않은 將來에 開發될 展望을 가지고 있는 海底鑛物 資源도 海底探査技術의 向上으로 可能해지고 있는 것이다.

4. 結　　言

本稿에서는 Resources와 Reserves의 槪念의 差異에 對한 理解를 높이기 爲한 努力 뿐만 아니라, Resources를 Reserves化하는데 決定的 役割을 하는 技術, 價格, 需要, 規模의 經濟에 對한 考察을 通해 資源에 對한 動的槪念 定立을 試圖했다.

Burton Klein敎授는 그의 近著 Dynamic Economics에서 動的效率(Dynamic Efficiency)을 매우 强調하여 提唱한 바 있는데 이를 가장 必要로 하는 産業分野가 바로 資源, 특히 鑛物 및 에너지資源分野이다. 不確實性으로 代表되어지는 産業의 巨視的 安定이나 適切한 投資意思決定을 爲해서는 무엇보다도 資源의 探査, 採鑛, 抽出 技術 뿐만 아니라 輸送 및 기타 利用하고

있는 技術의 函數라는 事實을 알고 經濟的 妥當性評價를 감안하여야 할 것이다.

參 考 文 獻

Rex Bosson and Bension Varon, *The Mining Industry and the Developing Countries*,Oxford University Press, 1977

C. Jackson Grayson, Jr., *Decisions Under Uncertainty*, Harvard Business School, 1960

John E. Tilton, *The Future of Nonfuel Minerals*, Brooking Institution, 1977

United States Mineral Resources, U.S. Geological Survey Professional Paper 820

國際化時代の 資源問題, 經濟審議會資源研究會編(1970)

金澄基, "鑛業에 있어서 投資基準의 設定 및 그 適用問題", 大韓鑛山學會誌, 第4卷 第2號, (1967)