

우라늄 探査 小考

李 宜 謙

(韓國電力(株)核燃料室長)

1. 核燃料 週期 (Nuclear Fuel Cycle)

흔히 原子力을 第3의 불이라고 한다. 이는 石油나 石炭으로부터 얻는 1次 動力, 電氣에서 얻는 2次 動力에 이어 未知의 核物質로부터 무서운 힘이 登場한다는 暗示인지도 모른다.

20 世紀 後半에 이르러 産業化된 原子力發電用 核燃料는 化石燃料에 비해 여러가지 다른 特性이 있다. 例를 들면 單位에너지含量이 크고 長時間 燃燒되며 燃料費가 極히 低廉할 뿐만 아니라 約 2年間 一連의 製作過程을 거친 核燃料 完製品을 原子爐에 裝填하여 中性子 불씨에 의해 物理的인 核分裂 反應에 따라 에너지를 얻는 것이다. 化學反應이 아닌 物理的인 反應이기 때문에 核燃料는 使用後에도 타다 남은 우라늄과 燃燒 途中 副産物로 生成된 플루토늄을 回收하는 再處理 過程이 存在한다.

따라서 核燃料 製作에 2年, 原子爐內 實燃燒에 3年, 使用後 再處理에 1年 등 6년이란 긴 時間에 하나의 싸이클을 形成하게 되고 이런 過程이 되풀이 되기 때문에 便宜上 週期概念을 導入하고 核燃料 週期費를 使用한다. 다

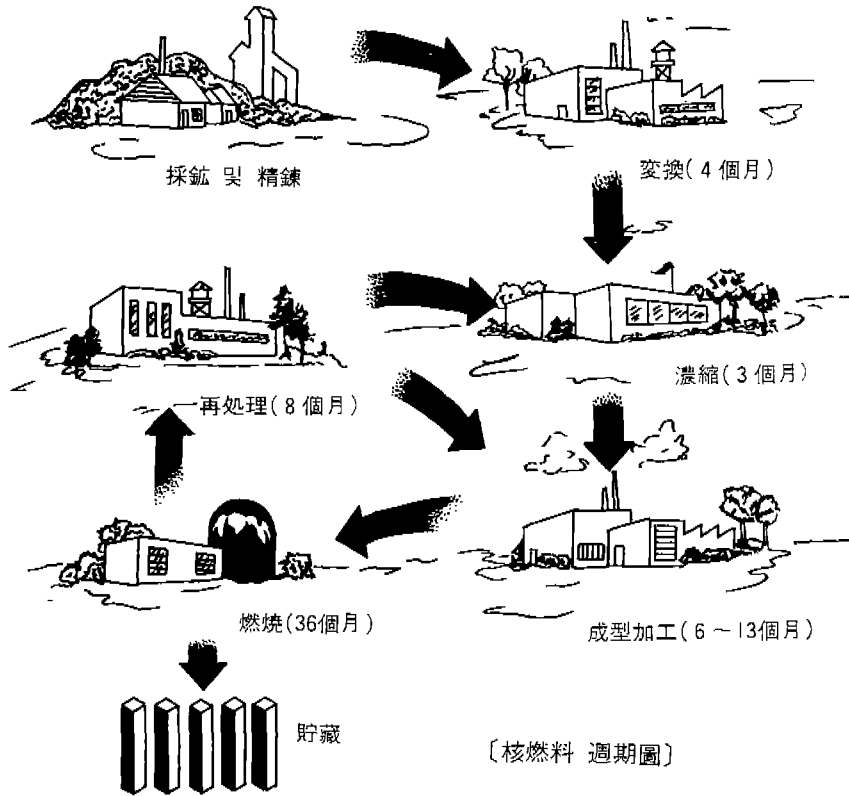
시 말하면 核燃料費는 우라늄價, 變換費, 濃縮費, 成型加工費 및 再處理費 등으로 構成되고 이 總費用을 生成된 電力量으로 나눈 核燃料 週期費는 KWh當 4원을 약간 上廻할 뿐이다. 비록 우라늄 價格이 石油와 같은 幅으로 올라간다 하더라도 核燃料週期費는 끊임 없는 技術改善으로 因하여 相對的으로 引上幅이 적다고 할 수 있다.

本欄에서는 核燃料費中 우라늄 精製 以前에 일어나는 鑛體 探査에 關하여 概觀하려고 한다.

2. 우라늄 産業

1939年, 우라늄元素의 核分裂이 理論的으로 立證된 以來 單純히 塗料用으로 使用되었던 우라늄은 2次世界大戰 末期, 美國에서 極秘裡에 推進되었던 이른바 「만하탄 계획」에 따라 軍事目的으로 原子彈 原料物質로서의 價値를 굳히게 되었다.

이어 1942年 12月, 美國 시카고大學校庭 한 모퉁이에서 웨르미教授 指揮下에 地上 처음으로 熱出力 200와트 原子爐(1名 시카고 파일)가 人工的인 連鎖反應에 成功하면서부터 드디어 1945年 8月, 지금도 우리 記憶에 생생하지만 오만불손하던 日本帝國主義의 戰爭野慾을



一舉에 終熄시킨 무서운 原子彈의 出現이 바로 그것이다. 原子彈 開發主役을 擔當했던 科學者들은 學者의 良心에서, 人類의 自滅을 염려했던 政治家들까지 한결같이 核武器 擴散과 放射線 管理問題를 苦心하게 되었다.

이를 效果的으로 管理하기 위하여 國際原子力機構(IAEA)를 서둘러 創設했고 美國 아이젠하워大統領은 1954年에 原子力法을 制定 公布하고 原子力 平和利用을 萬방에 提唱하였다. 이 法은 그로부터 10年後 原子力 發電用 燃料의 民間所有가 可能하도록 1次 改正된 일이었다.

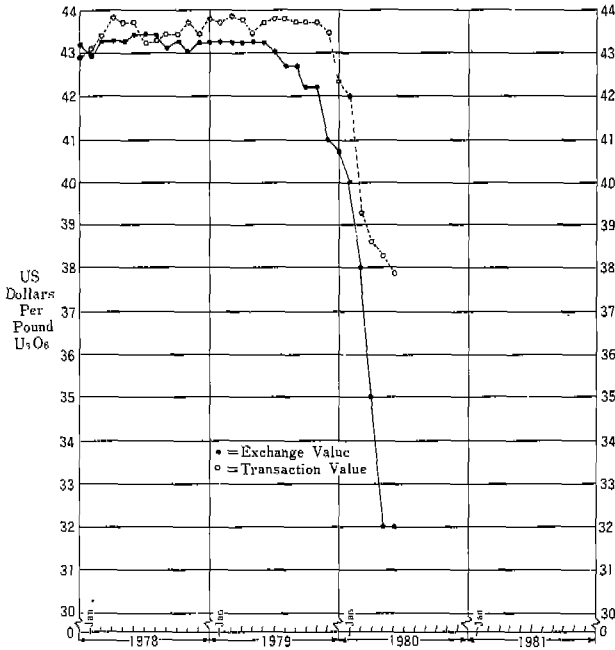
한편 原子力 發電 可能性을 向한 人類의 끈질긴 執念은 드디어 1957年度 美國에서 最初의 시핑포트原子力發電所를 登場시킨데 이어, 蘇, 英, 佛 등 先進工業國도 앞을 다투어 原子爐 開發에 拍車를 加하게 되자 늘어나는 우라늄 需要에 對備하기 위하여 探查活動이 到處에서 불붙기 始作했다.

1948年頃, 地球上에 알려진 우라늄 鑛山은

캐나다의 Great Lake所在 Eldorado 鑛山, 아프리카 벨기령 콩고所在 Shinkolobwe 鑛山, 南阿 金鑛 副產物 및 美國 Colorado Plateau의 바나듐鑛體 程度였다. 當時에는 美國이 앞장서서 Colorado Plateau 및 인접 와이오밍州를 對象으로 本格的인 地質調査가 着手되었고 美國原子力委員會는 探查 장려책으로서 民間探查會社에다 初期 生産 보너스를 支給하는 한편 保證 購入價格制를 철저히 履行 하였다. 우라늄 價格은 政府告示價로부터 漸次 民間主導型으로 바뀌고(1970年代初), 1974年부터 1978年까지 몇年間 石油波動 直後 各國의 우라늄需要가 크게 늘어 나면서 價格은 5倍로 폭등하였다.

그後 中東 產油國의 一方的이고도 빈번한 油價 引上 措置로 말미암아 世界經濟는 어려운 事情에 直面하게 되었고, 代替燃料라고 할 수 있는 石炭價 亦是 출렁 거리고 있는데, 尤독 우라늄價格은 同 期間 繼續 곤두박질치고 있다. 그 理由는 原子力 産業을 主導하던 美國이 2

[우라늄 價格]



年前 發表된 카터 에너지 政策과 까다로운 發電所 부지선정 基準 및 政府의 認許可 節次로 因하여 계획중인 原發 基數를 相當數 火力으로 代置했기 때문에 當分間 우라늄의 供給 과잉 상태를 超來했기 때문이다.

우라늄을 全的으로 海外 資源에 依存해야 하는 資源輸入國으로서 是 今 같은 市場與件이 우라늄 確保의 最適 時期일뿐더러 長期的인 觀 點에서 海外 開發 프로젝트에 共同 投資參與 또한 適期라고 볼 수 있다.

3. 우라늄 探査 技術

探査 技術을 記述하기 前에 代表的인 우라늄 產出狀態와 그 成因을 概略的으로 살펴 보기로 한다.

① 礫岩

이 鑛物은 比較的 安定된 점시 모양의 先캄 브리안 下部層에서 生成되며 대개 광화작용은 Uranite나 Brannerit 등의 酸化 鑛物과 함께 이루어진다. 鑛物品位는 0.025~0.15% U_3O_8

이며 광화대가 넓은 편이다.

② 堆積砂岩(Roll Front型)

美國 와이오밍 盆地型이 이에 屬하며 韓電이 參與하고 있는 南美 파라과이 探査 모델도 이 部類에 屬할 것으로 展望된다. 火山爆發이나 原岩石에서 나온 우라늄이 地下水에 녹아 酸化 環境에서 公극률이 높은 砂岩層을 移動하다가 H_2S 개스로부터 造成된 還元帶에서 일단 침전 되는 鑛床이다. 一般的으로 鑛體는 길고 활모 양으로 굵은 散發的인 集團이다. 지금도 繼續 生成되고 있으며 우라늄探査 地質學者들은 黃 鐵鑛(Pyrite)을 包含한 炭質物 狀態의 酸化作用에 基因한 붉거나 담갈색의 砂岩을 표적으로 注視하고 있다. 그 品位는 0.2% U_3O_8 程度 로 높은 便이다.

③ 脈狀 鑛體

이 形態의 鑛床은 大部分 金屬鑛床의 流動帶 에서 優白質 岩石과 같이 生成되는데 地下 깊은 곳에 存在하는 magma로부터 構造帶를 따 라 貫入되어 이루어진다고 볼 수가 있다.

④ 巨晶質 花崗岩

이 鑛床은 그 分布가 制限되어 있다. 그중 有名한 鑛床은 캐나다 온타리오주 Bancraft를 들 수 있으며 主要鑛物로서는 Uranite와 Uranothorite를 들 수 있다. 南西阿의 Rössing 鑛山도 이와 類似한 鑛床이나 이는 先캄브리안 堆積物이 高度로 變成作用을 받아 生成 되었다고 보는 편이다.

앞서 概觀한 바와 같이 우라늄 產出狀態도 各樣各色임으로 探査 모델이나 이에 대응하는 探査 技術도 多樣하다고 봐야 한다.

우라늄探査 初期에는 가이거 計數器를 등에 맨채 山계곡을 두루 헤매는 방랑객型 原始探査 에 지나지 않았으나, 各種 우라늄 賦存 成因이 漸次 밝혀 짐에 따라 探査技術도 一大 革新을 가져왔고 지금도 꾸준히 開發되는 過程이라고 보아야 한다.

韓電이 몇年間 外國 探査專門會社와 共同 參與하는 가운데 適用한 探査技術을 살펴보기로 한다. 한 마디로 말해서 넓은 地域에서 鑛體

증후를 찾는다는 것은 하늘을 나는 기러기 외 눈 알을 맞추는 격에 비유된다. 그래서 探查着手 初期에는 보다 값싼 間接的인 方法으로 일단 異常地域을 設定하고 차츰 地域을 좁혀 試錐 資料를 갖고 鑛體 賦存 與否를 判가름하는 傾向이다.

① 道步 測定

이것은 地表에 分출한 放射能을 檢出하는 方法이다. 過去에는 가이거計數器를 使用했으나 지금은 NaI(Tl) 格子式 휴대용 Scintillation 計數器를 널리 쓰고 있다. 그 特徵은 2ppm의 우라늄變化까지도 探知될뿐 아니라 우라늄과 토리움을 區分 檢出하는 長點이 있다.

② 自動車 測定

이 方法은 道步 測定과 同一方法이다. 測定 計數器를 自動車에 싣고 보다 빠른 速度로 推進 될 수 있으나 道路邊이나 自動車 接近 地域에 局限되는 短點이 있다.

③ 航空 探查

道步나 自動車 探查에 비해 多小 不正確한 편이나 넓은 地域을 對象으로 早速 結果를 얻어 異常地域을 設定하는데 有效한 方法이다. 檢出 計數器로서 放射線檢出器, 岩石의 磁氣測定器 등을 싣고 地表 100m 高度를 비행하면서, 1km 간격으로 同時 測定 記錄하며 아울러 電算處理 하게 된다.

그러나 地表에 덮인 表土가 두텁거나 地上이 密集 장글인 경우에는 別效果가 없다. 비행 도 중 촬영한 航空사진도 判독하여 地質構造를 解析함으로 多目的 意義를 갖는다.

④ 라돈 測定

라돈은 우라늄 自然붕괴시 放出되는 가스로서 Ra-222 는 U238 系列의 子元素이며 (半減期 4日) 우라늄 鑛體로부터 地表에 누출된 것으로 본다. 이 元素의 檢出은 우라늄 賦存 可能性을 시사해 주며 대개 두 가지 方式이 쓰이고 있다.

첫째 : 地表로부터 約60cm 地下에 좁은 구멍을 뚫어 라돈 가스 檢出에 예민한 필름을 放置해 두었다가 꺼내어 라돈 비격을 計數한다. (Track Etch 方法)

둘째 : 表土 구멍으로부터 空氣를 Pumping 하여 測定하는 方法이다(휴대용 라돈 檢出器).

前者는 鑛體가 比較的 깊지 않은 경우나 斷層 혹은 堆積物에 쌓여 있는 경우 適切하며 後者는 鑛體가 깊이 埋藏되어 있는 경우 適合하다.

⑤ 堆積物地化學的 測定

험한 山岳地帶에는 河川을 따라 堆積物이 移動하기 마련이다. 이 溪川의 지류를 따라 堆積物이나 土壤 試料를 採取하여 「UA-3」 測量器를 使用하여 우라늄함량을 分析 追跡하는 것이다. 따라서 河川 堆積物에 包含된 우라늄 檢出은 異常地域의 存在를 暗示하고 나아가 河川 支流를 追跡함으로써 大體 該當 地域을 判斷할 수가 있다.

< 試錐 >

前述한 道步測定, 自動車 測定, 비행기에 의한 放射能및 磁性 測定, 라돈가스 檢出및 河川 堆積物 우라늄 檢出 등이 모두가 우라늄鑛體 發見에 있어서 廣域을 對象으로 比較的 적은 費用을 들이면서 所期의 效果를 도모하는 間接的 探查方法이라 할 수 있다. 이와 같은 여러 가지 間接 探查方式을 廣域에 중첩함으로써 異常地域 選定에 보다 신빙성을 높이는 것이 된다.

探查方法中 試錐는 岩石의 構造나 層序를 보다 正確히 究明하고 우라늄 賦存과 그 位置까지 確認할 수 있으나 費用이 큰 것이. 또한 事實이다. 試錐 位置 選定이 무엇보다 重要하기 때문에 前述한 間接 探查資料를 最大限度로 活用하고 여기에 바로 여러가지 賦存 鑛物에 充分한 經驗을 쌓은 專門技術者의 綜合的인 判斷이 그 成敗를 左右한다.

試錐에도 넓은 간격의 概查試錐, 近距離 精密試錐, 鑛量計算을 위한 開發 試錐 등이 있고 試料 形態에 따라 로타리 試錐와 코아 試錐로 區分할 수가 있다. 로타리試錐는 試錐 速度가 빠른 反面, 岩石 가루를 一定 간격으로 採取, Cheap Card를 만들어 현미경으로 分析하여 層序를 비롯 正確한 地質構造를 把握하나 試料의 位置가 多少 不正確하거나 서로 混合되는

경향이 있다. 코아試錐는 試錐 코아를 들어내어 더 精密하게 岩石層의 기울기, 斷層 및 構造帶까지 判讀하나 速度가 느린 편이다.

이 두 가지 方法 共히 各 試錐孔에 放射線檢出器를 삽입하면서 地上에서 位置別 連續的인 放射能을 記錄하게 된다(Logging).

4. 韓電의 우라늄 探査 參與

脫石油 對策의 하나로 原子力 發電量을 大幅 늘여야 한다는 것은 거의 움직일 수 없는 事實이다. 장차 電力에너지의 主宗을 擔當하게 될 意慾的인 原子力發電所 建設 계획에 따라 信賴性 있는 發電을 하기 위해서는 發電用燃料, 即 우라늄 安定 確保가 무엇보다 重要한 課題이다.

따라서 實需要者인 韓電은 1980年代 所要 우라늄의 大部分을 海外 有數 우라늄 生産者와 長期契約 方式에 依해 確保하고 있다. 그러나 1990年代 以後 크게 늘어나는 우라늄 需要를 考慮, 相當量을 海外 鑛山에 共同 投資함으로써 보다 安定的으로 우라늄을 確保해야 할 立場에 있으므로 獨마른 사람 셈과는 格으로 南 美 파라과이에 우라늄共同 探査 프로젝트를 着

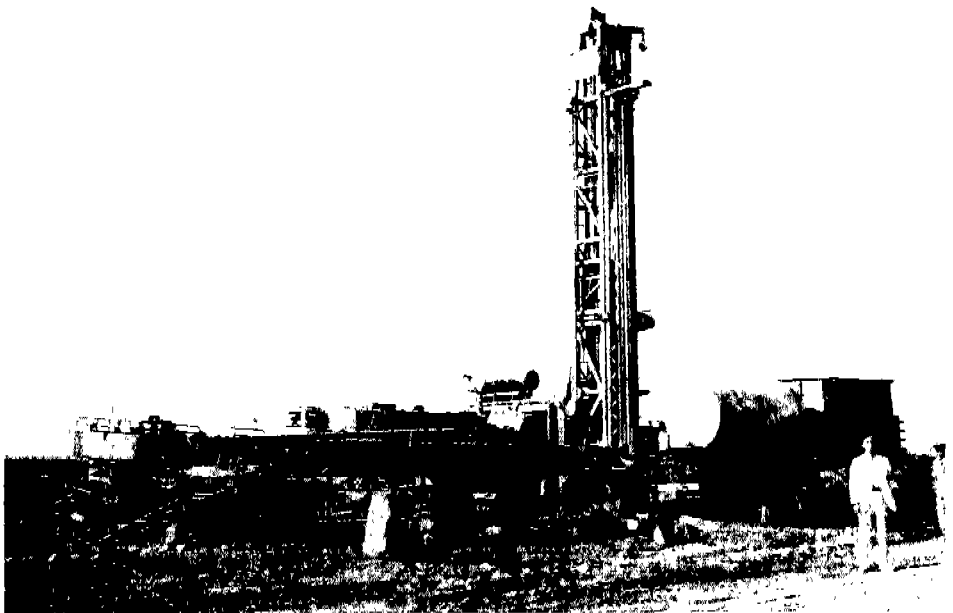
手하여 이미 3次年度에 접어 들었고 今年 봄에 멀리 아프리카 가봉에다 第2의 우라늄探査 프로젝트를 만들어 先進 探査會社의 技術을 빌어 상상도 못할 오지에서 우리 技術陣이 구슬땀을 흘리고 있다. 이 모두가 1990年代, 10年後를 내다보는 長期 布石이다.

그러면 이러한 探査 프로젝트에 언제, 어떻게 參與할 것인가? 이 問題는 多분히 探査 RISK(鑛體 發見率)와 결부해서 생각해 보는 것이 바람직하다. 一般的으로 우라늄 探査 RISK는 鐵이나 망강 같은 一般 鑛種보다는 높고 石油 探査보다는 낮다고 보는 見解가 支配的이다.

探査에 着手한다는 것은 鑛體 賦存의 希望을 갖고 오직 地質的인 概要만 알고 始作하게 됨으로 初期 探査일수록 RISK는 相當히 크다고 봐야 한다. 石油 探査에서 油田 發見率이 數%인데 對해 우라늄鑛體 發見率은 그런대로 10%는 된다고 한다.

한편 總우라늄 價格中 探査費가 차지하는 比率은 約 2~3%에 지나지 않는다. 例를 들어 15個 探査프로젝트中 1個만 成功하는 경우 總 우라늄 價格의 60% 程度 廉價 取得이 된다고

파라과이의
시추 현장에
들렀던 필자
(右端 들썩번) →



보아 探査費만 考慮한다면 探査 失敗 費用이 서로 相殺되는 計算이다. 그러나 實需要者가 아닌 鑛山會社인 경우 10個 探査프로젝트中 적어도 한두개는 成功해야 타산이 맞을 것 같다. 大部分 資源 輸入國들은 政府主導 혹은 成功拂 方式의 探査費 支援下에 民間企業이 探査活動에 參與하고 있는 實情이다.

이러한 RISK를 감수하고 探査活動에 熱을 올리는 것은 일단 좋은 鑛體를 찾으면 노다지 橫財도 期待되지만 앞으로 資源難에 對備하여 市場與件에 關係없이 發電用 우라늄을 長期 安定確保하자는데 보다 重要한 뜻이 있다.

한편 埋藏量이 確認된 프로젝트, 即 開發試錐 혹은 生産段階부터 參與하는 경우 鑛體 發見 RISK는 大幅 줄었지만 實投入 探査費 보다 적어도 5倍 以上の 持分 取得費를 負擔해야 함으로 이 경우 新規 參與者는 우라늄 市場價의 80%線으로 物量을 確保하는 셈이다. 實需要者인 경우 多少 利益을 度外視하더라도 物量安定確保에 重點을 두고 開發프로젝트에 參與하는 것도 바람직하다. 이런 프로젝트에 參與할 수 있는 機會는 우라늄 市場이 침체된 時期가 아니면 不可能하다. 지금의 우라늄市場 與件으로 보아 開發프로젝트에의 參與는 適切

한 時期로 判斷된다.

① 파라과이 우라늄共同探査

1978년부터 着手된 이 프로젝트는 租借權者인 미국 엔슈츠社를 運營者로 하고 韓電과 台灣 電力이 각각 25% 持分으로 參與하여 今年이 3次年度이다.

작년말 현재 探査 実績은 短期間에 비해 優秀한 편이며 選定된 有望地域 가운데 地下 堆積 砂岩層에서 우라늄 賦存 흔적이 檢出된데 이어 經濟規模 鑛體 確認을 위해 지금 이時刻에도 지각을 뚫는 試錐機의 함마소리가 하늘 높이 울려 퍼지고 있다.

② 가봉 우라늄 共同探査

우라늄供給源 多元化의 一環으로 未知의 資源 寶庫 아프리카에도 共同探査 프로젝트를 成案하고 租借權者인 프랑스 코제마社를 運營者로 알세우고 1980年 4月, 韓電이 共同 探査에 着手했고 7月 下旬이던 우리 技術陣이 現地로 떠나게 된다.

이 地域은 既存 鑛山의 地質의인 延長 地域이고 相當 水準의 基礎 探査가 끝나 異常地域이 設定된 狀態임으로 初期 探査 狀態를 벗어난 有望한 프로젝트로 評價되고 있다.



〈P. 48에서 계속〉

있으며 研究所의 任職員은 누구를 莫論하고 職務上 知得한 秘密을 누설하거나 盜用할 수 없도록 “韓國科學技術研究所育成法” 第8條에 罰則條項을 두어 強力히 規制하고 있는 것이다.

80年代는 技術쇼크(Technology_shock)가 豫見되는 期間이다. 70年代의 에너지쇼크에 發端된 經濟 危機를 克服하는 길은 오직 技術開發에 있다고 모두들 強調하고 있다. 그러나 技術開發은 口號에

依해서 되는 것은 絶對로 아니다.

80年代를 맞아 KIST는 새로운 覺悟와 계획을 가지고서 技術革新에 挑戰하고 있다. 그러나 여기에는 技術需要者들인 產業界의 研究開發에 對한 올바른 認識과 強한 意志가 有機的으로 連繫될 때에 비로소 期待했던 効果를 거둘 수 있게 됨을 함께 銘心해야 할 것이다.