

石油探査에의 同位元素 地質學의 應用

植 田 良 夫

Application of Isotope Geology to Petroleum Exploration.

Yoshio Ueda

本文은 1971年 10月 14日 午後 서울걸스카운 회관에서 大韓鑛山學會, 大韓鑛山地質學會, 大韓地質學會 主催, 韓國石油産業開發센터 後援으로 열렸던 學術講演會에서 日本 東北大學 理學部 岩石鑛物 鑛床學教室의 岩石學 教授 植田良夫 博士에 의해 發表된 講演 內容을 記錄한 것이다. 翻譯은 李大聲 會員에 의해 이루어 졌다. <편집자>

石油 探査, 특히 同位元素 地質學을 利用한 石油探査法을 日本에서의 實例를 주로 들면서 說明하려 합니다. 世界의 많은 石油은 海成起源의 것이라는 것은 오래전부터 여러 地質學者에 의해 밝혀졌습니다. 금번에 同位元素를 利用한 地質學에 대한 全般問題를 훑어 보려고 하는데, 어제 서울 大學校에서는 K-Ar 法에 의한 岩石年齡測定을 말씀 드렸습니다.

오늘은 同位元素를 利用하는 경우 특히 地質年代學을 이용하여 어떻게 石油探査를 하는가에 대하여 말씀드리려 합니다. 이에 여러 方法이 있지만 특히 K-Ar 法の 利用도가 높습니다. 堆積起源의 海綠石은 다량의 카리(K)를 포함하고 있기 때문에 K-Ar 法을 이용할 수 있고 이 방법으로 얻어진 年齡은 海綠石이 만들어질 때의 堆積作用의 時期를 나타낸다고 할 수 있습니다. 이 海綠石을 사용하는 경우로는 K-Ar 測定法 이외에는 없습니다. 現在 實際로 堆積 起源의 海綠石을 이용하여 그 鑛物의 年代를 測定하고 있습니다. 海綠石은 淺海性 物質이기 때문에 이것이 多量으로 나오는 限定된 區域인 특히 大陸棚과 같은 淺海性 海底 環境에서 堆積되었다는 것을 가르키는 것입니다. 現在 ^{12}C 와 ^{13}C 의 比를 측정하면 그 炭素를 포함하는 물질이 海成堆積物인지 陸成堆積物인지를 區別할 수 있는 단계에 이르렀습니다. 炭素 이외에도 黃(S)의 同位元素의 比 즉 S^{32} , S^{33} , S^{34} 등의 비율을 측정하면 그것이 어떤 起源으로 生成되었는지 알 수 있습니다.

石油 探査에 있어서는 石油의 油槽혹은 蓋岩(Cap rock)의 構造, 地層의 對比등 地下構造에 대한 知識이 必要하게 됩니다. 이러한 것을 알려면 地層의 檢層이

필요하게 되는데 이에선 γ -線에 의한 檢層, 中性子 發生 裝置에 의한 檢層등으로 油槽에 관하여 調査할 수 있습니다. 이러한 것을 알기 위하여는 또한 黃의 同位元素 比率를 구하여 보는 것입니다.

여러분이 잘 아시는 바와같이 日本의 油田은 日本海側 日本에 集中되어 있습니다. 이곳에서는 후나가와層(船川層), 오나가와層(女川層)과 그 下部의 니시구로자와(西黑澤層)등의 黑色셰일 內에는 油質物이 包含되어 있는데 이는 第三紀의 마이오세에 속합니다. 다른 한편 시즈오카 靜岡縣에서도 多少, 探鑛한 바 있으나 稼行할만한 것은 되지 못하고 稼行 價値가 있는것은 日本海側에 分布되어 있습니다. 日本에도 아끼다(秋田), 사가(佐賀)니이가타(新瀉)등지에 있는 油田등이 있습니다만 大部分 石油의 賦存量이 적기 때문에 稼行 價値가 거의 없게 되었습니다. 그래서 日本에서도 白龍號라는 探査船이 있어 日本海側의 여러곳의 大陸棚을 探査하고 있습니다. 특히 야마구찌(山口)縣의 앞바다에서도 試錐를 했는데 그것은 海底에서 약 3000m 깊이까지 뚫고 있으나 아직은 石油에 到達하지 못하였고 閃綠岩이 나오고 있습니다. 이와 같은 깊은 試錐이기 때문에 完全한 試錐 코어 採取를 할 수 없어서 이러한 硬岩에 대하여는 破片을 가지고 鑑別하게 됩니다. 閃綠岩은 肉眼으로 보아서 微粒質입니다. 一見 이 閃綠岩은 第三紀의 岩石으로 보였으므로 K-Ar 法으로 年代를 測定하여 달라는 부탁을 받은 일이 있습니다. 이 두께는 連續의 採取된 코아에 의하면 6~7m의 두께를 가지며 그 下位에도 堆積層이 있습니다. 또한 그 下部에 또 다른 하나의 閃綠岩이 있습니다. 즉 이곳에

는 上, 下 두개의 閃綠岩이 있다는 것이 알려졌습니다. 下部 閃綠岩에 대한 顯微鏡觀察에 의하면 斜長石으로부터 變換 雲母를 포함하고 있는데 이것은 확실히 이 岩石들이 接觸 變成 作用을 받은 證據가 됩니다. 上部 閃綠岩에서도 顯微鏡 觀察에 의하면 확실히 斜長石이 絹雲母로 變換한 것이 보이며 絹雲母는 集合體로 나타나 있습니다. 下部 閃綠岩의 顯微鏡의 性質도 上部 閃綠岩에서도 그와 變成程度가 같습니다. 上部의 閃綠岩은 100mm 直徑의 코아 試錐를 하였고 下部의 것은 70mm 直徑의 코아 試錐를 하였는데 上部의 코아를 가지고 K-Ar 法으로 岩石의 年齡을 測定한 結果 1억년의 값이 나왔습니다. 1억년이라면 白堊紀에 속하는 年齡인데 이 地域의 調査者들에 의하면 이 地域에는 白堊紀에 속하는 地層은 없는 것으로 생각하고 있는 것입니다. 이와 같은 큰값으로 인하여 日本海側에 白堊紀의 岩石이 있는 가에 대하여 잘 남득이 가지 않는다는 現場側의 意見이 있어 下部의 閃綠岩도 年齡測定을 하여 달라는 의뢰를 받고 本人이 직접 現場에서 下部 閃綠岩의 試料를 採取하여 그의 年齡을 測定하였던 것입니다. 이의 顯微鏡 觀察도 斜長石이 絹雲母로 變하여 있었고 이의 變成相도 上部와 다른 것이 없었습니다. 그런데 이의 年齡 測定 結果는 13m.y. 이라는 아주 젊은 값이 나왔습니다. 그런데 이에 대해서 適切한 解釋을 해야 되겠으나 本人이 韓國에 오게될 直前이어서 아직 이렇다한 解釋을 내리지 못하고 있습니다. 그래서 우선 이 解釋에 대하여는 다음과 같은 두가지를 생각할 수 있습니다. 그중 하나는 그림 1과 같이 假想的으로 試錐의 下

部の 柱狀圖를 그려 볼수 있는데 그림 1-A에서 第三紀層이 不整合으로 그 下部에 있는 白堊紀 地層을 덮었으며 이 白堊紀 地層속에 두개의 閃綠岩層이 있는 것으로 보는 경우입니다. 그런데 下部의 閃綠岩이 젊다는 것은 閃綠岩 下部에 비교적 젊은 貫入體, 流紋岩이나 安山岩같은 火山性岩石이 바로 試錐 位置 下部에 貫入하여 下部 閃綠岩에 대해서 接觸變成作用을 주어 Ar가 스가 一部 빠져나가므로 年齡이 젊게 되지 않았는가 하는 것입니다.

또 다른 하나의 解釋은 그림 1-B와 같이 이 地域에는 第三紀層이 全體로 發達하고 있는데 여기에 젊은 閃綠岩의 貫入이 上下 두개가 이루어 졌고 어떤 理由인지는 모르나 下部의 閃綠岩으로부터 上部의 閃綠岩으로 Ar의 一部를 添加시켰기 때문에 上部 閃綠岩의 年齡이 아주 오랜 것으로 보여지게 되었다는 解釋입니다. 그러나 이와같이 火成岩이 外部로부터 Ar가 스를 받아 年齡이 많아졌다는 報告는 아직도 世界에서 알려져 있지 않습니다.

이 試錐는 3000m나 되는 깊이를 가졌기 때문에 막대한 經費가 支出되느니 만큼 이를 擔當한 사람들은 확실한 解釋이 되지 않으므로 상당히 當황하고 있었습니다. 그래서 다시 上部 閃綠岩의 年齡을 測定하자는 이야기가 있어 測定 作業을 하던중 그중 하나는 失敗를 하였는데 그 主要原因은 어제도 말씀드린바와 같이 K-Ar 法에서 spike 로 쓰는 Ar^{38} 를 鐵片(hammer 라고도 부름)을 쓸 때 모르는 사이에 가스의 一部가 빠져 새어나감으로 正確한 값을 내지 못했다고 믿어 집니다. 이는 年齡을 計算하는 式(1)에서 보는 바와 같이 spike ampoule의 부피 V와 壓力 P가 分子에 있고 또 標品の 무게 W와 K의 %가 分母에 있기 때문에 時間의 값에 큰 차이가 생기게 된 것입니다.

K-Ar法에서 t를 計算하는式

$$^{40}Ar/^{40}K = \frac{^{40}Ar/^{38}Ar \times V \times P}{W \times K} \times 1.93 \dots \dots \dots (1)$$

$$t = 4341 \times 10^6 \times \log(9.083 \times \frac{^{40}Ar}{^{40}K} + 1) \dots \dots \dots (2)$$

V: Spike ampoule의 부피

P: Spike ampoule의 壓力 (mmHg)

W: Sample의 무게 (gr)

K: Sample內 K의 %

다시 同一 岩石의 다른 標品을 處理하여 Ar가 스를 추출하고 質量分析器를 써서 年齡을 測定한 結果 104m.y. 이라는 값이 나왔습니다. 처음에 測定한 값인 100m.y.와의 差는 誤差 範圍內에 들어갑니다. 卽 上部 閃綠岩의 年齡은 두번 測定했어도 별로 큰 차이가 없는 것으로 보

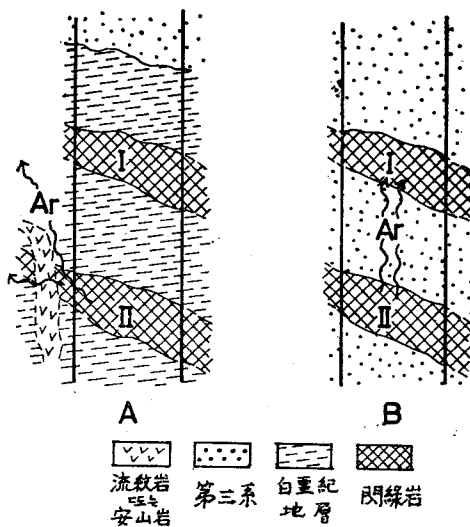


그림 1. 試錐孔 假想柱狀圖

아 틀림이 없는 것으로 믿어집니다. 그러나 下部 閃綠岩은 아직 한번 밖에 測定하지 못하였으므로 아직 確信하기에는 일러워서 이의 再檢討가 要請되는 바입니다. 그러므로 아직도 여기에는 結論적인 解釋을 내릴 수 없는 단계에 있습니다. 그러므로 歸國하면 다시 이 두 閃綠岩의 年齡에 관한 問題를 檢討할 豫定입니다. 만일 이것들이 第三紀의 岩石이라고 하면 아직도 그 下部에 相當量의 第三紀의 地層이 있는 것으로 믿어지기 때문에 이것은 대단히 石油探査에 있어 重要的 端緒가 될 것이라고 생각됩니다.

第三紀地層 以外에도 日本에서 石油를 包含하는 地層은 白堊紀 地層으로 北海道의 오이메層입니다. 이 地層에는 Ammonite와 Trigonina와 같은 化石을 포함하는 層인데 여기에서 輕質의 石油를 약간 產出하고 있습니다. 이것은 確實히 白堊紀의 地層입니다만 產出量이 극히 적어 稼行 價値가 있을 정도는 아닙니다. 그렇기 때문에 日本에서 石油를 期待할 수 있는 地層은 역시 第三紀의 것인데 특히 日本海側의 淺海에는 확실히 第三紀層이 分布하는 것으로 豫想되고 있으며 여러 곳에서 試錐 結果에 의해서 그 分布와 構造가 調査되고 있습니다. 그 地層은 褶曲을 이루고 있는데 특히 背斜構造를 이루어 石油를 保有하기 좋은 構造를 보이며 또한 多少나마 石油가 發見되고 있는 것으로 보아 앞으로는 더욱 探査를 實施할 必要가 있는 것으로 생각됩니다.

午前中에 延世大學校에서 말씀드린 바와 같이 海綠岩은 K-Ar法에 適用할 수가 있는데 그외에도 黃의 同位元素 S^{32} , S^{34} 의 比를 測定하면 그黃이 陸成源인지 海成源인지 알게되므로 黃의 同位元素 比를 測定하여 油田探査에 利用할 수도 있습니다. 이와 마찬가지로 炭素의 경우도 ^{12}C 와 ^{13}C 의 比를 내면 그를 包含하는 地層이 陸成有機源인지 海成有機源인지를 區別할 수 있습니다. 日本의 油田 分布地域中에서 다섯 地域에서 모두 다 오나가와層에 들어있는 海綠石을 가지고 年齡을 測定한 바가 있습니다. 이 오니와, 가모노사기, 노도, 등의 다섯 箇中 특히 노도地域에서 나온 오나가와層의 것으로 同一標品을 가지고 2回 年齡을 測定한 結果는 各各 12.8m.y.와 12.4m.y.로 나왔습니다. 이것은 誤差範圍內에 들어가는 값을 보이며 이 方法도 상당히 信賴度가 있음을 알 수 있습니다. 그런데 노도地域의 경우와 같은 값은 그 海綠石이 熱變成을 받지 않았거나 K에서 生成된 Ar가스가 어떤 理由로 放散되지 않았다면 이 年齡이 바로 그 地域에서 오나가와層이 堆積하였던 時期를 가르키는 것입니다.

다음은 年齡 測定 作業에서 記載하는 內容을 말씀 드리려 합니다.

예를 들면 測定 番號가 먼저 쓰여지고 다음은 測定 作業의 順位에 따라 試料 採取 地域名, 採取者의 이름 dating에 使用한 鑛物의 種類, 地層의 이름, 使用한 spike의 容積과 壓力, K의 含量, Ar가스를 추출한 사람의 이름, 質量 分析을 實施한 사람의 이름등을 記錄합니다.

K-Ar法에서 試料內에 包含된 空氣를 없애는 일을 可及的 잘 해야 하는데 그러기 위해서는 어제도 말씀드린바와 같이 試料을 약 $250^{\circ}C$ 加熱하는 作業을 해야합니다. 火成源의 黑雲母나 白雲母나 其他 鑛物의 경우는 이러한 溫度에서도 Ar가스가 달아나지 않지만 水成源의 鑛物들은 熱的 影響에 대하여 弱하기 때문에 충분히 주의하여 加熱하여야 하며 海綠石과 같이 結晶構造가 약한 鑛物에 있어서는 약 $150^{\circ}C$ 以下로 加熱해야하며 試料에서 Ar가스를 추출 하는 장치의 부분은 우선 약 $50^{\circ}C$ 정도로 加熱해서 試料에서 空氣는 빠져나가되 Ar가스는 새어나가지 않도록 特別한 注意를 해야 합니다.

空氣는 普通 1~7%정도로 標品속에 汚染되는데 특히 젊은 年齡의 物質 2~3萬年 또는 數10萬年の 것은 99%까지 空氣가 試料속에 들어오는 수가 있습니다. 이런 空氣 汚染으로 인해서 空氣로부터 오는 Ar가스가 測定 誤差에 큰 영향을 주기 때문에 特別한 주의가 要求됩니다. 그러나 아주 精密한 測定 作業을 할 수 있으므로 現在는 同一 試料에 대하여 8.7과 8.8m.y. 또 다른 試料에 대하여는 12.2와 12.4m.y. 이와같이 同一 試料을 重複測定하여 보면 거의 一致된 값을 보여주는 것입니다. 이러한 點으로 보아 測定 作業을 엄밀히 하면 좋은 값을 얻을 수 있음을 알게 됩니다.

다음은 實際 鑿井 作業에 있어 어떻게 同位 元素를 利用하는 가에 대해 말씀 드리겠습니다. 地表上에서 보통 가이가무리 카운터, 신치레이션 카운터들을 사용하여 岩石의 γ 線의 세기를 測定합니다. 즉 花崗岩, 閃綠岩, 斑靨岩, 泥岩에 대해 γ 線의 세기를 재면 그 값이 各各 다르기 때문에 各 岩石을 區別할 수 있습니다.

地表에서는 Air-borne 신치레이션 카운터나 Car-borne 신치레이션 카운터로서 測定하는 한편 試錐孔에 대해서도 이러한 γ 線을 測定하는 檢層器를 사용하여 岩石이 가지고 있는 γ 線의 強度를 재면 地層의 鑑別이 되고, 다른 여러 試錐孔들사이에서 地層의 對比를 할 수 있습니다.

이 γ 線 檢層器는 두가지가 있습니다. 그 하나는 ionization chamber가 있어 岩石에서 나오는 γ 線을 이곳에서 받아드려 이온化 되게하고 그 強度를 電流로 轉換增幅하여 記錄 裝置로 옮기는 것입니다.

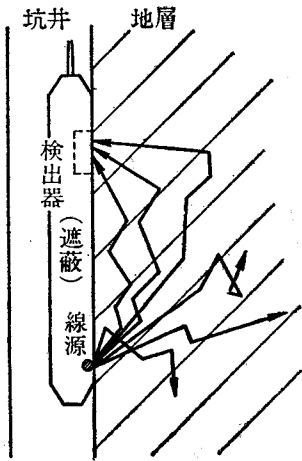


그림 2. 中性子檢層의 原理模式圖

다른 하나는 中性子を 이용한 檢層器입니다. (그림 2) 즉 中性子에 의해서 地層의 對比를 하는 것 입니다. 이것은 近年에 이르러 여기 저기, 여러 試錐孔의 檢層에 이용되고 있습니다. 이의 特徵은 試錐孔의 casing 이나 cementing 이 完了된 후라도 檢層을 할 수 있는 것입니다. 이것은 中性子を 試錐孔內에서 放出시켜 岩石을 構成하는 元素의 原子核이 中性子を 捕捉하도록 하여 γ 線이 發生되도록 하여 이를 다른 部分의 裝置(ionization chamber)로서 檢層하는 것입니다. 이 原理는 比較的 간단한 것으로 中性子源으로 가장 강한 라듐(Ra)과 베릴륨(Be)의 混合物을 사용하는 것입니다. 라듐에서 나오는 α 線은 베릴륨과 만나 거기서 부터 速度가 빠른 中性子가 나오게 되는 것입니다. 이와같은 中性子는 여러분이 알다시피 電荷를 띠지 않는 것으로 이는 電磁波 또는 光波라고 불리우는 높은 에너지의 線이 되어 casing 이나 cementing 한 試錐孔에서라도 에너지가 강하므로 그러한 部分을 뚫고 들어갈 수가 있어 岩石의 原子核에 到達하게 되는 것입니다. 이와같이 岩石部分에 到達한 高速화된 中性子は 그중 어떤것은 岩石 元素의 核과 충돌하여 速度가 減少하고 어떤것은 原子核에 捕獲을 당하고 또 어떤것은 에너지가 과잉 상

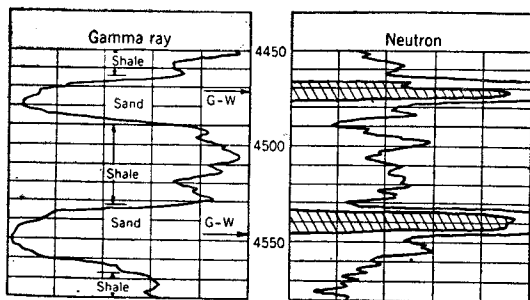


그림 3. Well-logging에 의한 γ 線과 中性子 檢層曲線圖

태에 이르기 때문에 γ 線을 發生하기도 합니다. 이와같이 해서 나온 γ 線은 岩石을 構成하는 元素의 組合이 달라서 그 세기가 다르기 때문에 그림 3과 같은 γ 曲線圖를 그려보면 岩石의 種類를 區別해낼 수 있습니다. 이 方法이 특히 많이 이용되는 곳은 油田이나 물의 井戸 檢査입니다. 그것은 水素 原子에 의해 中性子가 散亂現象을 일으키기 때문입니다. 그러므로 水素 原子가 적은 部分에서 散亂한 中性子の 數는 적을 것 입니다. 그러나 물이나 기름같은 水素 原子를 많이 가지고 있는 部分에서는 散亂된 中性子の 수가 많아질 것입니다. 그림 4은 어느 油田에서의 γ 線 및 中性子檢層曲線圖인데 보는 바와 같이 여기에는 세일도 있고 空隙率이 큰 砂岩도 있습니다. 이 砂岩속에 물이나 石油가 많이 들어 있다고 하면 이 中性子 檢層法을 사용 함으로서

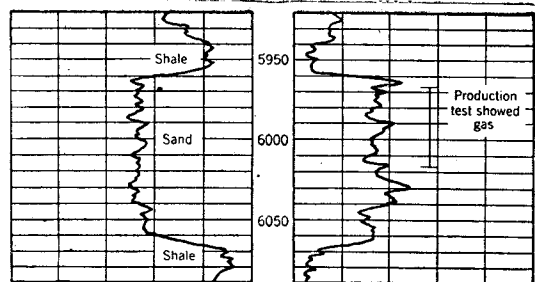


그림 4. 가스—石油地帶에서 well-logging 에 의한 γ 線(左)과 中性子(右)檢層曲線圖

油榴岩이나 蓋岩등을 各各 區別할수 있을 것입니다. 이와 같이 中性子 檢層法은 試錐孔의 檢層法으로 대단히 有效하게 사용되는 것입니다. 따라서 이 같은 中性子 檢層法과 γ 線 檢層法등을 並用하여 사용하면 石油 探査에 대단히 有效한 結果를 얻을수 있을 것으로 생각 됩니다.

히가시야마 (東山) 油田에서 鑿井한 207m 深度에서의 實例도 그림 4에서 보는 것과 비슷한 柱狀圖가 있고 이에 대해서 양쪽으로 γ 線 強度와 中性子 發生으로 얻어진 岩石으로 부터의 γ 線 값이 나와있습니다. 특히 물이나 기름을 갖고 있는 部分은 水素 原子 含量에 따라 散亂하는 γ 線의 값이 다르기 때문에 이런 方法이 널리 쓰여지고 있습니다. 檢層曲線이 낮은 部分은 蓋岩에 該當하고 높은 部分은 透水性이 높은 油槽岩에 該當한다고 볼수 있습니다. 이와 같은 檢層線을 여러개 만들면 地下 內部的 構造 解釋을 可能케 하는 것입니다.

γ 線의 強度를 比較하여 性質이 같은 部分을 連結하면 地層의 對比도 할수 있고 地下構造도 解釋이 됩니다. 이러한 일을 하면 背斜 構造라고 할때는 위에 蓋岩이 있는가? 또는 油榴岩이 있는 가 등을 생각하여

油田의 探查를 더욱 具體的으로 이끌어갈 수 있습니다.

以上 말씀드린 內容을 綜合하면 同位元素를 利用한 油田 探查는 다음과 같이 3가지 面으로 區分해 볼 수 있습니다. 첫째는 火成岩內의 K를 包含하는 鑛物이나 堆積岩內의 海綠石을 試料로 하여 그들의 絕對年齡을 測定 함으로 그 岩石이 關係하는 地層들의 年代를 알아서 그 地層들이 石油를 包含할 수 있는 地層인가를 鑑別하는 일입니다.

둘째는 炭素, 黃等の 元素의 同位元素의 含量比를 測定하여 그 元素를 包含하는 地層들이 海成源인가 陸成源인가 하는 起源을 밝힐 수가 있습니다.

셋째로 γ 線 檢層器, 中性子 檢層器로서 試錐孔內의 放

射線強度를 깊이에 따라 垂直的으로 檢層하므로써 地下의 岩石의 性質을 鑑別하는 同時에 油槽岩, 蓋岩을 識別하고 이와같은 作業을 여러 試錐孔에 대해서 實施함으로 地下의 地層 對比와 물 또는 石油를 包含하는 地層들의 相互 關係 및 地質構造를 밝혀 石油나 地下水의 賦存 狀態를 推理하는 일입니다.

끝으로 最近 日本 石油 地質學者들의 動向을 말씀드리면 國內 石油의 不振狀態로 많은 石油 地質學者들이 中東 地域등으로 進出하여 그곳에서 石油 採取權을 獲得하여 國外에서 石油 開發에 힘쓰고 있는 實情입니다.

以上으로 저의 講演을 끝마치겠습니다.