特 輯 急迫하여진 우리나라의 脫油政策

# 地熱發電의 現況과 展望

沈 永 鉉
(韓電技術研究所 第二研究室 室長代理)

## 1. 머릿말

요즘 우리는 石油危機가 아닌 石油恐怖 時代에 살고 있다. 이에 대처하기 위해 世界의 여러 나라는 代替에너지 開發 및 脫石油의 研究에 汎國家的 次元에서 총력을 기울이고 있다. 石油生産이 全無하고 賦存資源이 빈약한 우리나라의 경우 代替에너지의 開發의 必要性은 말할 필요조차 없겠다. 本稿에서는 代替에너지 중에서 비교적 우리 귀에 생소한 地熱에너지에 대해서 斷片的이나마 論해 보고자 한다.

地熱 에너지는 예전부터 쓰여져 왔는데, 地熱 즉 地中에서 나오는 天然蒸氣나 熱水를 農作物 乾燥, 食品加工, 溫床, 魚類養殖, 木材乾燥 등등으로 利用했고, 現在 아이슬란드의 首都 레이키야비크市(人口 9만명)에서는 地域暖房의 99.5%까지를 地熱을 利用하고 있으며, 우리나라에서는 주로 溫泉으로 쓰여져왔다.

여기서는 地熱發電의 現況과 發電原理 및 問題點을 살펴보고, 앞으로의 展望과 우리나라의 利用 可能性에 대해 살펴본다.

## 2. 地熱發電의 歷史와 現況

地熱發電의 歷史는 1904年 이태리의 도스카나地方 라르디레로에서 世界 最初로 地熱發電에 成功, ¾마력의 發電機에 의해 5個의 電球를 켠 것으로부터 시작된다. 그후 1913年 250KW 發電에 成功하고, 1917年 2,750KW, 1958年에는 뉴질란드의 우라게이 地方에 70,000KW 發電所가 建設되었다. 뒤를 이어 미국, 멕시코, 日本, 쏘련 등이 계속 地熱發電에 참여, 이제는 25個國이 地熱發電 및 地熱資源탐사에 열을 올리고 있다.

現在 世界地熱發電 容量은〈表-1〉과같이 1,957 MW이며 建設 및 計画中에 있는 것은 2,343MW이다 (1979年 1月 現在). 또 現在 unit當 最大發電機는 美國 GEYSERS 11號機로 110,000 KW이다. 요즘의 石油波動으로 보아 地熱發電所는 급격히 增加할 것으로 보인다.

〈表-1〉世界 地熱發電現狀 (1979. 1現在)

| 國名 | 運轉中 MW | 建設 및 計画中 MW |
|---|---|---|
| 미국 | 923 | 85 |
| 이태리 | 435.2 | — |
| 뉴질랜드 | 202.6 | 764 |
| 멕시코 | 157 | 295 |
| 일본 | 119 | 200 |
| 엘살바돌 | 61.1 | 60 |
| 아이슬란드 | 495 | 33 |
| 필리핀 | 4.3 | 440 |
| 니카라과 | — | 175 |
| 칠레 | — | 20 |
| 기타국가 | 5.3 | 271 |
| 合計 | 1957 | 2343 |

## 3. 地熱源

地熱源은 地下 數Km~10Km 깊이에 있는 高温岩體(MAGMA)이며, 크기는 直徑 數Km, 温度 1,000℃ 前後이고, 壽名은 수만년 以上으로 추정되므로 半 永久的 에너지라 하겠다.

〈그림-1〉의 (a)에서 보는 바와 같이 빗물이 地下로 스며들어 高温岩體의 熱을 받아 噴氣孔으로 나오거나 熱水로 温泉이 된다. 地上으로 나온 蒸氣나 熱水는 다시 냉각, 地下로 스며드는 순환이 계속된다. 利用할 수 있는 地熱資源은 天然蒸氣, 地熱水, 高温岩體로 나눌 수 있다.

(가) 天然蒸氣 : 過飽和蒸氣로서 전체地熱源의 1% 미만이나, 이것을 利用한 發電所는 世界에 12개나 있다.

(나) 地熱水 : 전체 地熱源의 10% 정도로 추산되며, 가장 많이 利用되고 있다. 天然蒸氣나 地熱水는 120℃ 以上이 되어야 直接 發電에 利用될 수 있다. 그러나 BINARY CYCLE (二次 流體式)을 쓴다면 80℃ 以上이면 可能하다.

(다) 高温岩體 : 전체 地熱源의 70% 以上을 차지하고 있으며, 앞으로의 大容量 地熱發電에 利用될 것으로 硏究가 활발하게 진행되고 있다.

위에서 본바와 같이 地熱源이 있어야 地熱發電이 가능하므로, 이에 적합한 地域은 극히 한정되어 있다. 대부분의 경우 天然의 噴氣孔, 温泉, 變質帶 등의 地熱徵候가 있는 地熱地帶에 한한다.

## 4. 地熱發電의 基本 CYCLE

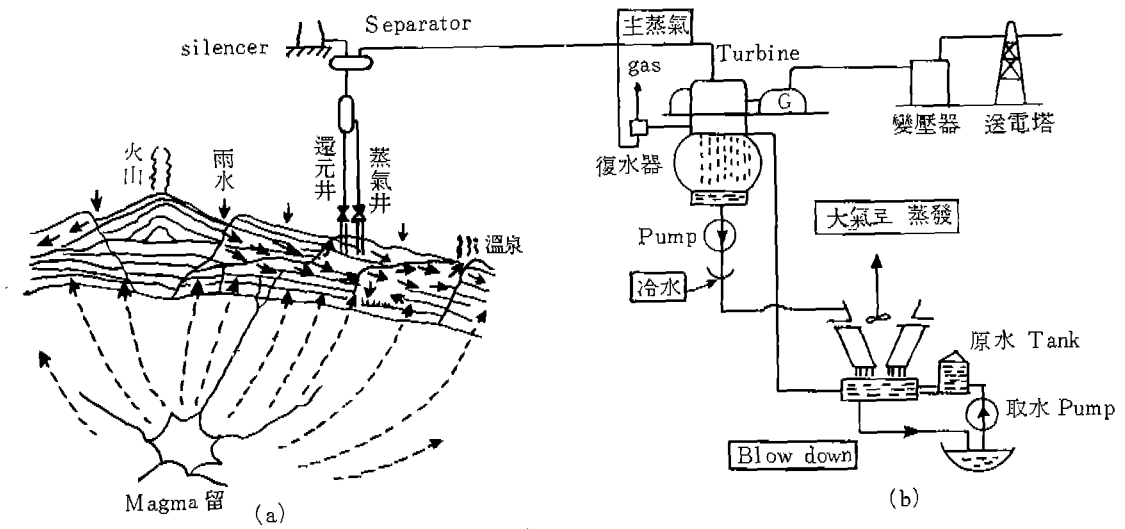
地熱發電의 基本 CYCLE은 蒸氣나 熱水를 直接利用하는 方式과, 2차 유체식(BINARY CYCLE)의 두가지로 나눌 수 있다.

(가) 直接利用CYCLE

直接利用CYCLE은 여러가지 있으나〈그림-2〉에서는 많이 쓰이는 두가지 CYCLE을 소개한다. 또 〈그림-1〉의 (b)는 熱水分離蒸氣 利用式의 실제 系統圖이다.

실제 直接利用CYCLE로 發電하고 있는 發電所의 仕樣은 〈表-2〉와 같다. 表에서 보는 바와 같이 天然蒸氣를 사용하기 때문에 蒸氣條件 수 $kg/cm^2$의 飽和蒸氣이므로 壓力도 낮고 設備가 간단하여 信賴度가 높고, 安定된 저렴한 發電이 可能하다.

實例로 日本의 大岳 發電所(10,000KW)는 1967年 8月 運轉開始後 7年 동안 2年에 1回 (約2週) 定期補修 이외의 事故停止時間은 60時間도 안되며 半數이상은 雷擊에 의한 事故이므로 극히 安




[그림 1] 地熱 發電 系統図

〈表－2〉 地熱發電所 設備仕樣

| 設備 \ 概要 \ 單位 \ 地名 | | | 日本 大岳 | 日本 松川 | Iceland KRAFLA | 필립핀NPC.MAK-ILNG BANAHOW |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 形式 | | 충동복수식 | 충동복수식 | 충동복수식 | 충동반동복수식 |
| 터 | 出力 | KW | 10,000 | 22,000 | 30,000 | 55,000 |
| | 回轉數 | r.p.m | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,600 |
| | 蒸氣壓力 | kg/cm²G | 1.5 | 3.5 | 6.7 | 5.68 |
| | 〃 溫度 | ℃ | 127 | 147 | 168 | 162 |
| 빈 | 〃消費量 | t/h | 113 | 193 | 189 | 352 |
| | 터빈段落數 | 段 | 4 | 4 | 5×2 | 5×2 |
| 復 | 器內壓力 | ata | 0.10 | 0.138 | 0.121 | 0.138 |
| 水 | 冷却溫度 | ℃ | 26 | 25 | 23 | 30.6 |
| 器 | 〃 水量 | t/h | 3,900 | 4,320 | 5,640 | 13,200 |
| 가스 | 台數 | | 3台 | 2 set | 2 set | 1 set |
| 抽出 | 容量 | m³/h | 4620×3 | 2234 | 16280 | 27650 |
| 器 | 所要動力 | | 106kw×2 | 1330kg/h | 10260kg/h | 430KW |
| 運轉開始日 | | | 1967.8 | 1966.10 | 1978.2 | 1979.1 |
| 製作社 | | | 三菱 | 東芝 | 三菱 | 三菱 |

定되어 있다고 하겠다.

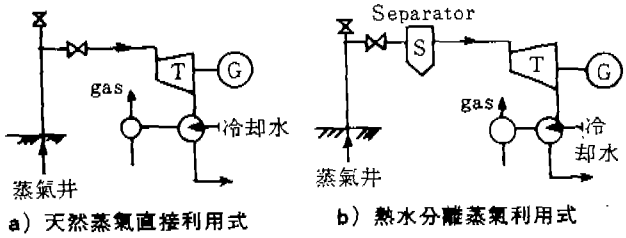
(나) 2차 유체식(BINARY CYCLE)

地熱水가 가진 高溫의 熱로 낮은 溫度에서 蒸發하는 FREON이나 ISOBUTANE 같은 作動 流體에 전달, 이 流體로 TURBINE을 돌려 電力을 生産하는 方法이다. 다시 말하면 100℃의 물이라면 1.03$kg/cm^2$의 蒸氣壓밖에 얻을 수가 없다.

그러나 〈表－3〉에서 보는 것과 같이 ISOBUTANE이라면 20.8$kg/cm^2$나 되는 高壓의 蒸氣를 얻을 수 있으므로 TURBINE을 高速으로 回轉시키는 것이 可能하다. 실용된 곳은 1967年 쏘련의 KAMCHATKA半島의 680 KW가 처음이며 作動流體는 FREON-12를 썼고 地熱水의 溫度는 80℃였다. 日本 大岳에 1,000KW의 發電所가 PILOT PLANT의 성격을 띠고 建設되었다.

2차 流體式의 系統圖는 〈그림－3〉과 같고 大岳의 主系統圖는 〈그림－4〉에 나와 있다. 大岳의 作動流體는 ISOBUTANE을 썼고, 地熱水의 溫度는 130℃이다. 地熱水 50ton/hour에 대해 約 5 ton/hour의 ISOBUTANE 蒸氣를 만들었고, ISOBUTANE의 使用量은 18ton이었다. 그러나 大容量의 實用 PLANT를 建設하려면 수십배의 作動流體가 必要하므로 값싸고 害가 없는 作動流體를 使用해야 經濟的인 發電을 할 수 있다. 그러므로 ISOBUTANE 이외에도 에탄, 프로판, 펜탄등의 炭火水素가 使用 可能하므로 溫度범위에 따라 적절한 流體를 골라 使用할 수 있다.

〔그림－2〕 地熱利用發電方式

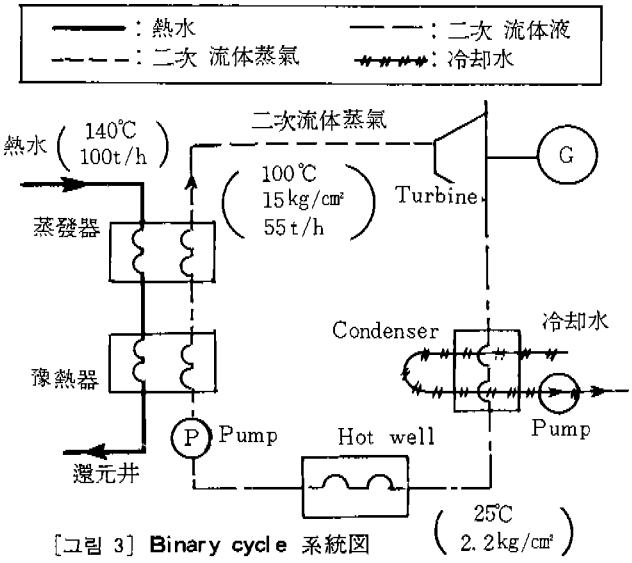



a) 天然蒸氣直接利用式　　b) 熱水分離蒸氣利用式

〈表－3〉 R－114, R－601의 飽和壓力

| 溫度 ℃ | 飽和蒸金壓力 km/cm abs | | |
|---|---|---|---|
| | Freon 114 (R-114) | Isobutone (R-601) | Water |
| −20 | 0.377 | 0.71 | — |
| −10 | 0.591 | 1.11 | — |
| −5 | 0.230 | 1.36 | — |
| 0 | 0.893 | 1.60 | 0.006 |
| 10 | 1.30 | 2.29 | 0.012 |
| 20 | 1.85 | 3.10 | 0.023 |
| 40 | 3.44 | 5.32 | 0.075 |
| 80 | 9.44 | 13.7 | 0.482 |
| 100 | 14.3 | 20.8 | 1.033 |
| 120 | 21.0 | | 2.024 |
| 140 | 30.2 | | 3.684 |

BINARY CYCLE의 問題點은 熱 交換器의 設備費가 비싸고 熱水측의 SCALE 附着에 의한 熱交換器의 成能低下이다. 이 BINARY CYCLE을 利用하면 地熱發電 이외에도 低溫排熱水, 工場排熱水, LNG低溫, 海洋溫度差 發電등에도 利用될 수 있다.




[그림 3] Binary cycle 系統図

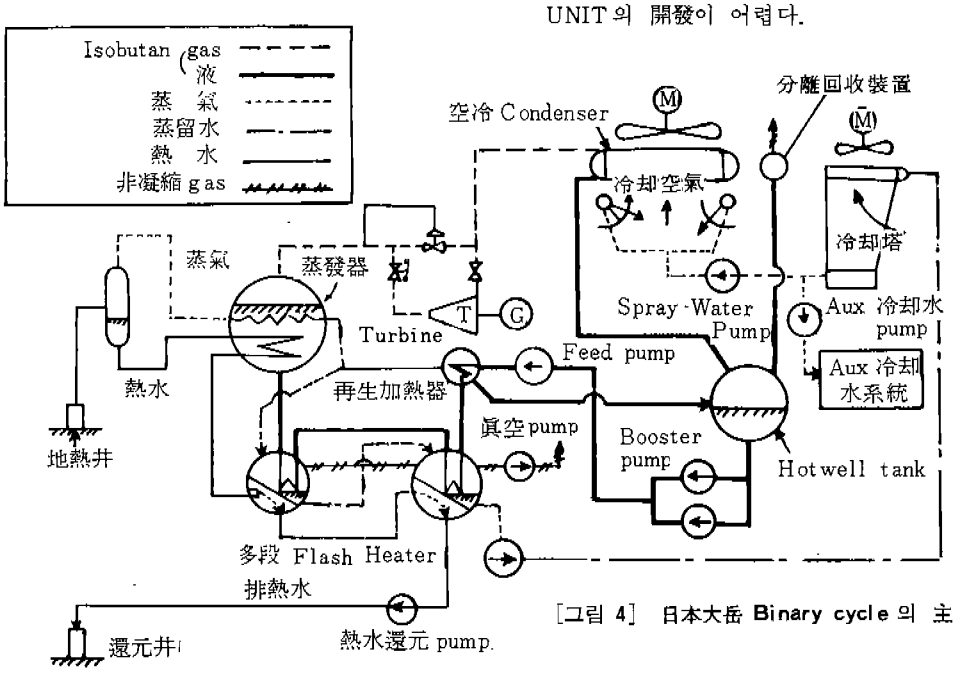
특히 海洋溫度差 發電은 15℃ 以上의 溫度差(바다 表面과 深部)만 있으면 된다고 하며, 1978年 8月 50KW 發電에 成功하고 1980年 3月에 1,000 KW의 熱 交換器 成能을 하와이 해변에서 실시할 예정이다.

## 5. 地熱發電의 問題點

(가) 地點 선정에서 發電까지는 상당히 長期間의 조사가 必要하다. 蒸氣井의 位置 선정을 위해서는 槪略的인 조사, 精密조사, TEST BORING을 하여 利用可能한 蒸氣의 賦存狀態를 확인하고, 發電用 蒸氣井의 掘削을 시작한다.

蒸氣井을 몇개 파본 후 TURBINE의 熱 CYCLE을 선정, 蒸氣條件, UNIT 容量 등을 決定한다. 이것은 蒸氣井의 特性 즉 壓力, 溫度, 蒸氣量, 熱水量, 熱水의 PH, GAS 量, GAS成分이 각 蒸氣井마다 다르기 때문이다.

(나) 蒸氣의 壓力도 낮고, 蒸氣井 1本에서 나오는 出力도 적으며(表－5) 一般的으로 산간벽지에 位置하므로 大形機器의 輸送이 어려워 大容量 UNIT의 開發이 어렵다.




[그림 4] 日本大岳 Binary cycle 의 主系統図

(다) 蒸氣井은 經年的으로 容量이 감소하는 것이 보통이므로 補充井의 掘削用地의 확보가 계획시부터 必要하다. 大岳 10,000KW의 경우를 보면 減少率은 年 6% 정도이다. 그러나 熱水의 地下還元후부터는 점점 減少率이 적어지고 있다.

(라) 地熱蒸氣에 포함된 腐食性 GAS 對策, 不純物에 의한 SCALE 附着 防止 對策이 必要하다.

(마) 噴出되는 熱水나 蒸氣에는 砒素 등의 有害物質이 함유되어 있으므로 그에 대한 對策도 必要하다.

(가)의 경우 地熱 發電所는 보통 蒸氣井의 數가 10井 以上 필요하다. 그러나 1號井을 完成한 후 發電所가 運轉될 때까지 4~5 年間 방치되는 경우가 많으므로 트럭으로 쉽게 운반, 설치할 수 있는 PORTABLE 地熱 發電機도 開發되어 있다. 容量은 750~10,000 KW이며 一時的인 發電은 물론 恒久的인 發電도 可能하도록 設計되어 있다.

## 6. 韓國의 利用 可能性

地熱發電은 앞에서 설명한 바와 같이 地熱徵候가 있는 特定한 地域에서만 可能하다. 다행하게도 우리나라는 백두산, 한라산의 분화구나 각처에 흩어져 있는 温泉을 보아 알 수 있듯이 地質學的으로 필리핀, 대만, 日本, 中共 등과 같이 地熱帶에 속해 있어 地熱資源 利用 可能國에 들어있다.

〈表-4〉우리나라 地熱水現狀 (KIST 제공)

| 地名 | 温度 ℃ | 湧量 t/h | 깊이 m |
|---|---|---|---|
| 해운대 | 60 | — | — |
| 동래 | 66 | 50 | 120~140 |
| 온양 | 48 | 181.5 | 160 |
| 유성 | 50 | 125 | — |
| 덕산 | 445 | 4.75 | 150 |
| 부곡 | 75 | — | 100 |
| 수안보 | 53 | — | — |
| 이천 | 34 | 16.7 | 200 |
| 척산 | 42 | — | 250 |
| 마금산 | 45 | 5 | 80 |
| 도고 | 30 | 25 | 150~200 |

〈表-4〉와 〈表-5〉에서 우리나라의 温泉과 日本 地熱 蒸氣井을 비교해보면 日本의 最低温度가 127℃이나 (表-2) 우리나라는 20~80℃의 低温이고, 깊이는 日本이 最低가 400m에 비해 우리는 80~250m에 불과하나, 熱水의 生産量을 보면 우리나라 最大 温陽温泉의 181.5 ton/hour 는 日本 蒸氣井 1本의 90~204 ton/hour에 비해 별로 떨어지지 않는다.

地熱發電을 하기 위해서는 地熱源의 壓力, 温度, 流量 및 汽水 混合比, 不凝縮 GAS 混合比, SCALE 發生率 등의 상관 관계를 定量的으로 파

〈表-5〉 蒸気井 仕様

| 地名 | | | 日本大岳 | | | 八丁原 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 蒸氣井 | NO | 7 | 9 | 10 | 1 | 4 | 6 |
| 掘削 | 開始 | | 1964.3 | 65.1 | 66.1 | 1968.7 | 70.6 | 71.1 |
| | 終了 | | 1964.4 | 65.3 | 66.5 | 1969.2 | 70.10 | 71.6 |
| 井仕様 | 力徑 | inch | 8 | 8 | 8 | 6 | 8 | 8 |
| | 깊이 | m | 400 | 550 | 660 | 785 | 1,084 | 1,238 |
| | 絶切壓力 | atg | 11.3 | 8 | 6.6 | 22.0 | 42.0 | 10.6 |
| 噴出地熱特性 | 壓力 | atg | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 8.73 | 7.52 | 7.92 |
| | 蒸氣量 | t/h | 21.0 | 40.0 | 34.0 | 39.5 | 96.5 | 52.5 |
| | 熱水量 | t/h | 90.0 | 145.0 | 130.0 | 109.0 | 204.0 | 179.5 |
| | 熱水比 | — | 4.28 | 3.63 | 3.83 | 2.76 | 2.11 | 3.42 |
| 가스 | 合有率 | WT% | 0.527 | 0.697 | 0.121 | 0.547 | 0.321 | 0.309 |
| | 가스總量 | kg/h | 280 | 200 | 36 | 219 | 378 | 145 |
| 其他 | 相當出力 | KW | 1900 | 3700 | 3100 | 5300 | 14900 | 5300 |
| | 〃(二次蒸氣使用) | KW | — | | | 6200 | 16600 | 7200 |

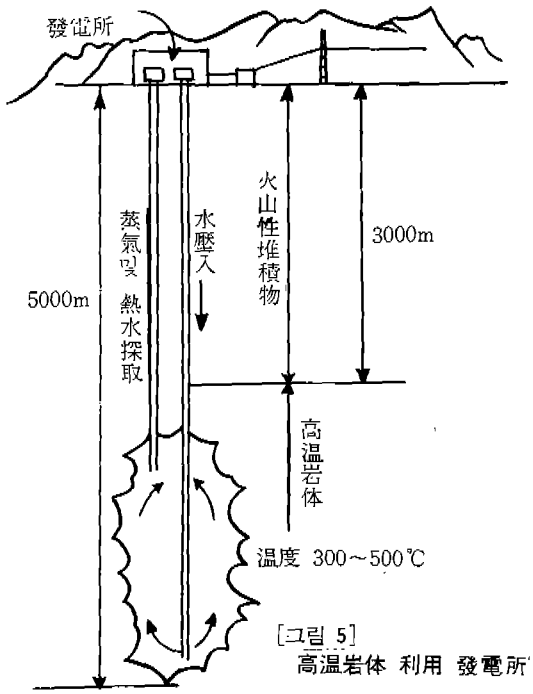
악해야 하며, 그 후에 그에 알맞는 機種의 선택 및 設計가 이루어져야 한다.

그러나 우리나라는 地熱資源의 매장량 推定조차 안된 상태이다. 매장량 推定조차 안된 상태에서 地熱發電의 可能, 不可能을 말할 수는 없고 다만 地質學的으로 可能國에 속한다. 그러므로 먼저 地熱資源의 매장량 推定을 위한 精密한 探査가 이루어져야 하겠다.

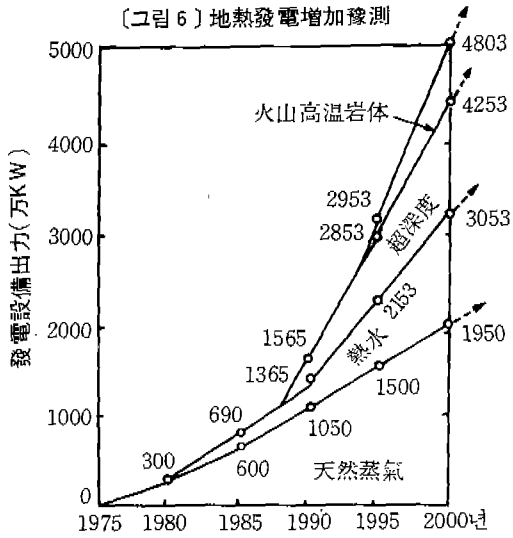
## 7. 地熱發電의 展望

現在의 地熱發電所는 대개 地下 1~1.5Km의 비교적 낮은 地熱 貯留層에서 採取되고 있으므로, 1機당 發電量은 1~5만KW의 규모가 많다. 大容量化하기 위해서는 地下 3~4 Km의 深部의 火山, 高温岩體 등에서 大量의 熱에너지를 채취해야 하므로 이에 대한 研究가 계속되고 있으며 25만 KW 정도의 發電所를 계획하고 있다.

高温岩體는 火山이나 地熱地帶에 天然의 流體를 갖지 않고 존재하며, 1000℃ 정도의 높은 열을 가




[그림 5]
高温岩体 利用 發電所




〔그림 6〕 地熱發電增加豫測

지고 있다. 이의 利用은 〈그림－5〉에서와 같이 高温岩體를 掘削破碎한 후 물을 注入, 여기서 나오는 蒸氣를 채취, 즉 人工의 熱水를 만들어서 쓰는 방법으로 大容量의 地熱發電이 可能할 것으로 본다. 〈그림－6〉은 地熱發電에 대한 技術開發이 계획대로 잘 進行될 경우 世界 地熱發電量의 增加를 예측한 것이다. 이것은 日本 産業技術審議會 新에너지 特別部會에서 1974年 2月에 예측한 것이나, 현재의 여러 與件으로 볼 때 이보다 훨씬 급격한 增加를 보일 것이다.

## 8. 맺음말

以上으로 斷片的으로나마 地熱發電에 대해서 살펴보았다.

우리나라와 같이 賦存資源이 빈약하고 現在와 같이 어려운 에너지 與件으로 볼 때 地熱은 정말 貴重한 國産 熱資源이라 하겠다. 이 귀중한 熱資源을 放置하지 말고 매장량 조사와, 活用方案, 그리고 地熱發電에 대한 調査 研究의 併行이 무엇보다 시급하다 하겠다.