

出國報告（出國類別：實習）

美國地熱電廠觀摩實習報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：林啓文/再生能源處工程師

派赴國家：美國

出國期間：102年8月18日至8月25日

報告日期：102年9月24日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：美國地熱電廠觀摩實習報告

頁數 37 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

林啓文/台灣電力公司/再生能源處/工程師/(02)2366-7534

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：102 年 8 月 18 日至 8 月 25 日

出國地區：美國

報告日期：民國 102 年 9 月 24 日

分類號/目：

關鍵詞：空氣冷卻、雙循環、EGS、地熱電廠

內容摘要：

美國 Neal Hot Spring 地熱電廠、美國 Stillwater 地熱及太陽光電複合式電廠、美國 Dixie Valley 地熱電廠、美國 Newberry EGS 示範試驗場等地熱發電方式包括傳統閃發蒸汽渦輪發電系統、新式雙循環發電系統及最新之 EGS 技術，其中亦有整合太陽光電與地熱發電之電廠，將基載電源、尖峰用電及備用機組整合為同一電廠之概念，可供我國發展地熱發電及再生能源示範島之參考。

目次

壹、出國緣起	1
一、任務	1
二、緣起與目的	1
三、行程	1
貳、實習內容	2
一、Power Engineers 公司參訪及討論	2
二、觀摩 Neal Hot Spring 地熱電廠	6
三、觀摩 Stillwater PV 及地熱複合電廠	9
四、觀摩 Dixie Valley 地熱電廠	14
五、觀摩 Newberry EGS 示範試驗場	19
參、心得與建議	22
一、實習心得	22
二、建議	25
三、誌謝	27
附錄、Dixie Valley 地熱電廠系統圖	28

圖表

表 1：參訪行程表	2
表 2：我國與美國再生能源法規比較	22
圖 1：Power Engineers 公司參訪討論	4
圖 2：Power Engineers Inc.在亞洲規劃之地熱電廠	4
圖 3：Power Engineers Inc.規劃之地熱電廠實景圖	5
圖 4：Power Engineers Inc.規劃之地熱電廠模擬圖	5
圖 5：Neal Hot Spring NHS-2 生產井	7
圖 6：Neal Hto Spring 地熱發電廠之乾式空氣冷卻塔	7
圖 7：Neal Hot Spring 地熱電廠之雙循環發電機	8
圖 8：Neal Hot Spring 地熱電廠之架空電源線	8
圖 9：Stillwater 地熱電廠之生產井	10
圖 10：Stillwater 地熱電廠之乾式空氣冷卻塔	11
圖 11：Stillwater 地熱電廠之雙循環發電機	11
圖 12：Stillwater 混合式電廠之太陽光電板	12
圖 13：Stillwater 混合式電廠人員進行 PV 巡檢	12
圖 14：Stillwater 混合式電廠之監控系統	13
圖 15：Dixie Valley 地熱電廠 60MW 閃發蒸汽發電機組	15
圖 16：Dixie Valley 地熱電廠 6MW 雙循環發電機組	15
圖 17：Dixie Valley 地熱電廠之 NGT 系統	16
圖 18：Dixie Valley 地熱電廠之生產井	16
圖 19：Dixie Valley 地熱電廠生產井旁之汽水分離器	17
圖 20：Dixie Valley 地熱電廠使用之結垢抑制藥劑	17
圖 21：Dixie Valley 地熱電廠用於補充儲集層之地下水井	18
圖 22：Dixie Valley 地熱電廠對外道路及架空電源線	18
圖 23：Newberry EGS 示範試驗場之注水井	20
圖 24：Newberry EGS 示範試驗場之加壓注水設備	20
圖 25：Newberry EGS 示範計畫之震測井	21
圖 26：Newberry EGS 示範計畫之震測資料收集設備	21

壹、 出國緣起

一、 任務

赴美國地熱電廠觀摩實習，學習美國地熱電廠規劃、運維相關之專業技術與知識，以利後續相關地熱發電業務推動。

二、 緣起與目的

- (一) 經濟部工業局與美國愛達荷州於 4 月 24 日簽署「台美綠能產業合作平台備忘錄」，成立雙方合作平台，美方並邀請平台成員赴美進行地熱電廠之觀摩，經濟部台美產業合作推動辦公室為加速國內地熱資源開發及促進雙方產業合作之機會，並學習美國地熱發展之經驗及技術，爰邀集國內產研代表組團赴美，因該團赴美之目的與本處出國實習計畫相符，於是報名參加此次觀摩行程。
- (二) 出國團隊由經濟部台美產業合作推動辦公室、經濟部駐洛杉磯台北經濟文化辦事處、工研院、台灣經濟研究院及本公司派員組成，團員名單如下：
陳明祥 經濟部駐洛杉磯台北經濟文化辦事處 /副組長
曾馨慧 經濟部台美產業合作推動辦公室 /專案經理
王韶華 工業技術研究院北美分公司 /總經理
謝瑞青 工業技術研究院綠能與環境研究所/資深工程師
黃慧芬 台灣經濟研究院 /副研究員
林聖哲 台灣經濟研究院 /助理研究員
林啓文 台灣電力公司再生能源處 /工程師
- (三) 實習內容概要：拜訪 Power Engineers 公司，實地觀摩 Neal Hot Spring 地熱電廠、Stillwater 太陽光電與地熱複合式電廠、Dixie Valley 地熱電廠及 Newberry EGS 示範試驗場等，學習地熱電廠規劃及運維。

三、 行程

- (一) 參訪日期：102 年 8 月 18 日至 102 年 8 月 25 日，共計 8 日。
- (二) 實習單位：
 - (1)Power Engineers 工程顧問公司(Power Engineers Inc.)。
 - (2) Neal Hot Spring 地熱電廠(Neal Hot Spring Geothermal Plant)。
 - (3) Stillwater 太陽光電與地熱複合式電廠(Stillwater Solar Geothermal Hybrid Plant)。
 - (4)Dixie Valley 地熱電廠(Dixie Valley Geothermal Plant)。
 - (5)Newberry EGS 試驗場(Newberry EGS)。
- (三) 出國行程：
共參訪 PowerEngineers 工程顧問公司、觀摩 Neal Hot Spring 地熱電廠、Stillwater 光電與地熱複合式電廠、Dixie Valley 地熱電廠及 Newberry EGS 示範試驗場等，詳細行程請參閱表 1。

表 1：觀摩實習行程表

日期	參訪單位	活動內容	接洽人員
8月18日		去程	
8月19日	IDOC	Idaho 商業部之接待會	Damien Bard Eddie Yen
8月20日	Power Engineer Inc.	上午地熱電廠規劃簡報	Chun Chin Todd A. Haynes Darel Tracy
8月20日	Neal Hot Spring Geothermal Plant	下午觀摩 Neal Hot Spring 地熱電廠	Dennis Gilles Douglas Glaspey
8月21日	Stillwater Solar Geothermal Hybrid Plant	觀摩 Stillwater 光電與地熱複合式電廠	Brad Platt Alex Koehler
8月22日	Dixie Valley geothermal Plant	觀摩 Dixie Valley 地熱電廠	Don Wells David Mendershausen
8月23日	Newberry EGS	觀摩 Newberry EGS 示範試驗場	Susan Petty Trenton T. Cladouhos Michael Moore
8月24日 8月25日		返程	

貳、 實習內容

一、Power Engineers Inc. 參訪與討論

Power Engineers Inc. 成立於 1976 年，為美國知名之再生能源工程顧問公司，公司總部位於美國愛達荷州 Hailey 鎮，在美國加州、奧克蘭、克羅拉多、堪薩斯州等 18 州皆有公司據點，另於英國及南非則有海外分公司，員工總數達 1,700 人以上，年營業額超過 2 億 5 千萬美元。

參訪 Power Engineers Inc. 之行程，由該公司能源部門資深專案經理 CHUN CHIN、專案經理 TODD A. HAYNES 及高級工程師 DAREL TRACY 負責接待，討論內容包括：地熱電廠規劃及設計經驗分享討論。

Power Engineers Inc. 之專業領域包含地熱電廠、風力發電、PV、生質能電廠、電網等之規劃、設計、環境影響評估及可行性分析，該公司所規劃設計並完工運轉之地熱電廠總裝置容量超過 650MW，類型包括閃發蒸汽式地熱電廠、乾蒸汽式地熱電廠及雙循環地熱電廠，主要位於美國、哥斯大黎加、墨西哥、土耳其、菲律賓、印尼及肯亞等地。

依據 Power Engineers Inc. 之說明，地熱電廠之規劃取決於開發地點所擁有之資源，電廠規劃初期需將地熱資源為純蒸汽、汽水混合或純熱水，地熱之溫度、酸鹼度、儲藏量、熱水中礦物質種類及含量，地面或地下水資源等調查清楚才能依據各種不同之資源規劃相應之電廠類型及電廠規模，如地熱資源為高溫純蒸汽則規劃蒸汽渦輪電廠、汽水混合或 150°C 以上高溫熱水則可規劃閃發蒸汽渦輪電廠、雙循環電廠或混合型電廠、150°C 以下之熱水則可規劃雙循環電廠，對於酸鹼易造成腐蝕之水質則需選用相對抗腐蝕之材質，對於易結垢之水質則規劃以生產井加壓或加注抗結垢藥劑之方式抑制結垢產生，再依據所規劃地熱電廠之型式、選用材質、工法及規模進行經濟及財務分析計算需投入之資金及電廠之經濟性，並以電腦軟體模擬電廠外觀及對周遭環境所可能造成之衝擊，在最終評估可行之情況下進行投資及電廠興建。

對電廠附近居民所關心之環境影響問題，Power Engineers 之經驗是將電廠之外觀規劃融入周遭環境，以減輕對環境之影響，並以 3D 動畫模擬電廠建成之外觀，向電廠周遭居民說明以減少反對意見。



圖 1：Power Engineers Inc. 參訪討論

Project	Size and Type	POWER Engineering Scope
New Kizildere Power Plant, Turkey	60 MW Triple Flash	Complete Plant Engineering, Procurement, Expediting
Darajat III Geothermal Plant, Indonesia	110 MW Dry Steam	Complete Plant Engineering, BOP Procurement
Germencik Geothermal Plant, Turkey	48 MW Double Flash	Complete Plant Engineering, Procurement, Expediting
Germencik II Binary Cycle, Turkey	10 MW Binary	Plant Definition and Feasibility, Engineering, Procurement
Mindanao 2 Geothermal Plant, Philippines	52 MW Double Flash	Project Management, Complete Plant Engineering, Procurement
Mindanao 1 Geothermal Plant, Philippines	52 MW Single Flash	Complete Plant Engineering, Expediting, Procurement

POWER Engineers, Inc. 8

圖 2：Power Engineers Inc. 在亞洲規劃之地熱電廠



圖 3：Power Engineers Inc. 規劃之地熱電廠實景圖



圖 4：Power Engineers Inc. 規劃之地熱電廠模擬圖

二、觀摩 Neal Hot Spring 地熱電廠

觀摩 Neal Hot Spring 地熱電廠行程由 U.S. Geothermal 公司總經理 Douglas Glaspey 及執行長 Dennis Gills 負責接待，內容包括：U.S Geothermal 公司發展沿革與現況說明、地熱電廠成本結構簡介，Neal Hot Spring 地熱電廠簡介等，並實地觀摩地熱電廠控制系統、地熱生產井、冷卻塔(Cooling Tower)，及雙循環(Binary)發電機。

Neal Hot Spring 地熱電廠：位於 Oregon 州東側 Vale 鎮附近之沙漠區，全廠區所佔面積達 9.36 平方哩(2,486 公頃,含生產井及回注井)，由 U.S Geothermal 公司負責開發及營運，共有生產井 4 口，回注井 5 口，使用 3 部 TAS 雙循環發電機組，每部單機容量為 7.33MW，工作流體為 R134A，總裝置容量達 22MW，發電機組採乾式空氣冷卻系統，共建置 1 組冷卻塔以 10 部大型風扇進行空氣冷卻，總投資金額共 7,340 萬美元(約新台幣 21.65 億元)，地熱生產井鑽鑿深度在 750 ~ 1,200 公尺之間，地熱儲集層溫度約 140°C，使用過之地熱水則百分之百進行回注，針對地熱井及管路的碳酸鈣結垢問題，Neal Hot Spring 地熱電廠採用井口加壓方式抑制結垢，自去 2012 年 11 月開始商轉至今(2013)年 8 月止仍未發現有結垢發生。

Neal Hot Spring 電廠所產生之電能以 69kV 架空電源線進行傳輸並全數躉售與 Idaho Power Company，運轉初期躉售費率約 0.096 美元/度(新台幣 2.83 元/度)，往後逐年調高，躉售年限共 25 年，平均躉售費率約 0.117 美元/度(新台幣 3.45 元/度)。

依據美國 2005 年頒佈之 Energy Policy Act. 規定，使用乾式空氣冷卻系統之地熱發電廠可獲美國能源部(Department of Energy)提供之設備補貼，故 Neal Hot Spring 地熱電廠之發電機組採用乾式空氣冷卻系統，乾式空氣冷卻系統雖屬較新之技術，但容易因季節氣溫高低而影響發電效率，Neal Hot Spring 地熱電廠地處沙漠地區，夏季溫度高達 98°F(37°C)以上，使用乾式空氣冷卻系統造成夏季發電量劇減，實際發電量約僅達冬天滿載發電量的 1/3。

經詢問有關建置地熱電廠時鑽井成本占建廠成本之比率，U.S Geothermal 執行長 Dennis Gilles 說明鑽井成本占建廠成本之比率並依各電廠之情況不同並不固定，其中發電機組成本大約是固定的，但鑽井成本占比會依鑽井之深度及成功率而有不同，一般來說地熱電廠之鑽井成本與發電機組興建成本占比大約是 50:50，但如果運氣好，鑽井次數少且深度淺即可獲得地熱資源，則鑽井與發電機組興建之成本占比會是 20:80，若多次鑽井皆無法成功獲得地熱資源，則鑽井與發電機組興建之成本占比會變成 80:20。



圖 5 : Neal Hot Spring NHS-2 生產井



圖 6 : Neal Hto Spring 地熱發電廠之乾式空氣冷卻塔



圖 7：Neal Hot Spring 地熱電廠之雙循環發電機



圖 8：Neal Hot Spring 地熱電廠之架空電源線

三、觀摩 Stillwater 太陽光電與地熱混合電廠

由 Enel 公司經理 Brad Platt 及電力部門主管 Alex Koehler 負責接待，內容包括:Enel 公司發展沿革與現況、Stillwater 電廠簡介及營運經驗說明，並實地觀摩 Stillwater 太陽光電與地熱混合電廠。

Enel 集團為世界第 2 大的跨國性電力開發及營運集團，員工總數接近 74,000 人，事業版圖橫跨歐洲、美洲、非洲及亞洲，經營之電廠類型包括水力、火力、核能、地熱、風力、太陽能及生質能等，發電機組之總裝置容量達 98GW，2012 年營收達 850 億歐元。

Stillwater 太陽光電與地熱混合電廠:位於 Nevada 州西部沙漠地區,靠近 Fallon 市,由 Enel Green Power 公司負責營運，太陽光電部份於 2011 年商轉，共使用 89,000 片多晶矽太陽光電模組，建置面積約 240 英畝(97 公頃)，總裝置容量達 26MW，建置成本共 6 千萬美元(新台幣 17.7 億元)；地熱電廠則於 2009 年商轉，使用廠區面積約 13 萬平方呎(1.2 公頃，僅計控制室、發電設備及冷卻塔)，共有生產井 4 口，回注井 5 口，生產井與回注井距離至少 5 英哩(約 8 公里)，使用 4 部雙循環發電機組，以 R134A 為工作流體，單機容量 8.25MW，總裝置容量達 33MW，發電機組採乾式空氣冷卻系統，共建置 3 座冷卻塔各以 120 部風扇進行空氣冷卻，地熱生產井鑽鑿深度在 750 ~ 1,350 公尺之間，地熱儲集層溫度約 185°C，使用過之地熱水則百分之百進行回注，針對地熱井及管路的碳酸鈣結垢問題，採用 Enel 專有技術將專利加壓馬達裝置於生產井內部對熱水加壓抑制結垢，估計每 5 年才需清理一次蒸發器及水管內之結垢物。

Stillwater 太陽光電與地熱混合電廠為世界第一座同時建置太陽光電與地熱之混合電廠，太陽光電及地熱機組總裝置容量共計 59MW，電廠之設計概念為以地熱電廠當成基載及太陽光電廠之備用電廠，而太陽光電則補充尖峰負載所需之發電量；因 Stillwater 電廠位處沙漠地區，夏季溫度高達 98°F(37°C)以上，採用乾式空氣冷卻系統之地熱電廠會因高溫影響冷卻效率而影響發電效率，故 Stillwater 地熱電廠在夏季會減少運作 2 部地熱發電機組但仍維持運作 3 座冷卻塔，以提高地熱機組之發電效率，而太陽光電則可補充白天地熱電廠因高溫所減少之發電量，使 Stillwater 電廠能維持穩定之淨發電量輸出，Stillwater 電廠也因採用太陽光電與地熱混合提供尖峰負載及基載之設計獲美國能源部共計 4 千萬美元(新台幣 11.8 億元)之設備補貼。

Stillwater 電廠內太陽光電與地熱所生產之電能，以 69kV 架空電源線合併傳輸並全數躉售與 Nevada Energy Company，電源線長度約 18 英哩(29 公里)，而太陽光電與地熱所發電能以相同電價躉售，躉售期限為 20 年。



圖9：Stillwater 地熱電廠之生產井



圖10：Stillwater地熱電廠之乾式空氣冷卻塔



圖11：Stillwater地熱電廠之雙循環發電機



圖12：Stillwater 混合式電廠之太陽光電板



圖13：Stillwater 混合式電廠人員進行PV巡檢



圖14：Stillwater混合式電廠之監控系統

四、觀摩 Dixie Valley 地熱電廠

由 Terra-Gen 公司地熱電廠專案經理 Don Wells 及工程師 David Mendershausen 負責接待，內容包括：Dixie Valley 地熱電廠介紹及地熱電廠現場觀摩說明。

Dixie Valley 地熱電廠：位於 Nevada 州西部 Fallon 市北邊之沙漠區，與 Fallon 市距離 98 英哩(158 公里)，共建置 1 部閃發蒸汽渦輪發電機及 1 部雙循環發電機，由 Terra-Gen 公司負責地熱電廠之營運，1988 年開始商轉之閃發蒸汽地熱廠區所佔面積約 40 公頃，單機容量 60MW，共有生產井 8 口，回注井 12 口，至 2012 年 1 月增建 1 部 TAS 雙循環發電機組，以 R134A 為工作流體，單機容量 6MW，地熱電廠總裝置容量達 66MW；蒸汽渦輪發電機組合高壓渦輪機(325°F，90Psig)及低壓渦輪機(235°F，20.5Psig)兩部份，採濕式冷卻，雙循環發電機組則採乾式冷卻，電廠內共分別建置 1 組濕式冷卻塔及 1 組乾式冷卻塔，濕式冷卻塔以 7 部大型風扇進行冷卻散熱，乾式冷卻塔則以 6 部大型風扇進行冷卻散熱。

地熱生產井鑽鑿深度在 2,400 ~ 3,000 公尺之間，地熱儲集層溫度約 392°F~482°F(200°C~250°C)，生產井之產出為汽水混合液(蒸汽量約 15%)，電廠於生產井附近建置汽水分離器進行第一次汽水分離以獲得高溫高壓蒸汽，並將高溫高壓蒸汽導入蒸汽渦輪發電機之高壓渦輪，汽水分離後之熱水(320°F)則進行第二次汽水分離並可獲得熱水總量約 10%之低壓蒸汽導入發電機之低壓渦輪，高壓蒸汽及低壓蒸在進入汽渦輪機之前會先經過 NGT(Noncondensed Gas Treat)系統，以真空吸取方式將蒸汽下層無法凝結之二氧化碳、硫化氫等氣體與蒸汽分離，使蒸汽純化後再導入汽渦輪機，汽渦輪機發電後所凝結之純水則當成濕式冷卻塔之冷媒循環使用。

第二次汽水分離後剩餘 75%熱水之溫度仍有 232°F(111°C)，在 2012 年前都直接進行回注，2012 年後則將熱水先送往雙循環發電系統之 Superheater 對已氣化之工作流體加熱，再送往熱交換器進行熱交換後方進行回注，回注水之水溫已降為 154°F(68°C)；因推動蒸汽渦輪之 25%蒸汽冷凝後被用於濕式冷卻系統之冷媒並有 5%從冷卻塔散逸，故回注井之回注量僅為生產井生產量之 75%，將導致儲集層之熱水量逐漸消耗，Dixie Valley 電廠遂對生產井進行壓力監測，並適時以地下水補充儲集層之消耗。針對地熱井及管路的碳酸鈣結垢問題，Dixie Valley 地熱電廠採用於生產井加注化學藥劑之方式抑制結垢，依據 Don 之說明，僅在雙循環發電機之熱交換器及熱交換器後之管路會因熱水溫度低於飽合溫度而產生結垢，且每 6 年才需進行一次結垢清理。

Dixie Valley 地熱電廠所產生之電能以 60kV 之架空電源線進行傳輸並全數躉售與 Southern California Edison，躉售期限至 2038 年，電源線總長度共 220 英哩(354 公里)，而因電源線太長，也造成高達 2MW 之輸電損失。



圖15：Dixie Valley地熱電廠60MW閃發式蒸汽發電機組



圖16：Dixie Valley地熱電廠6MW雙循環發電機組



圖17：Dixie Valley地熱電廠之NGT系統

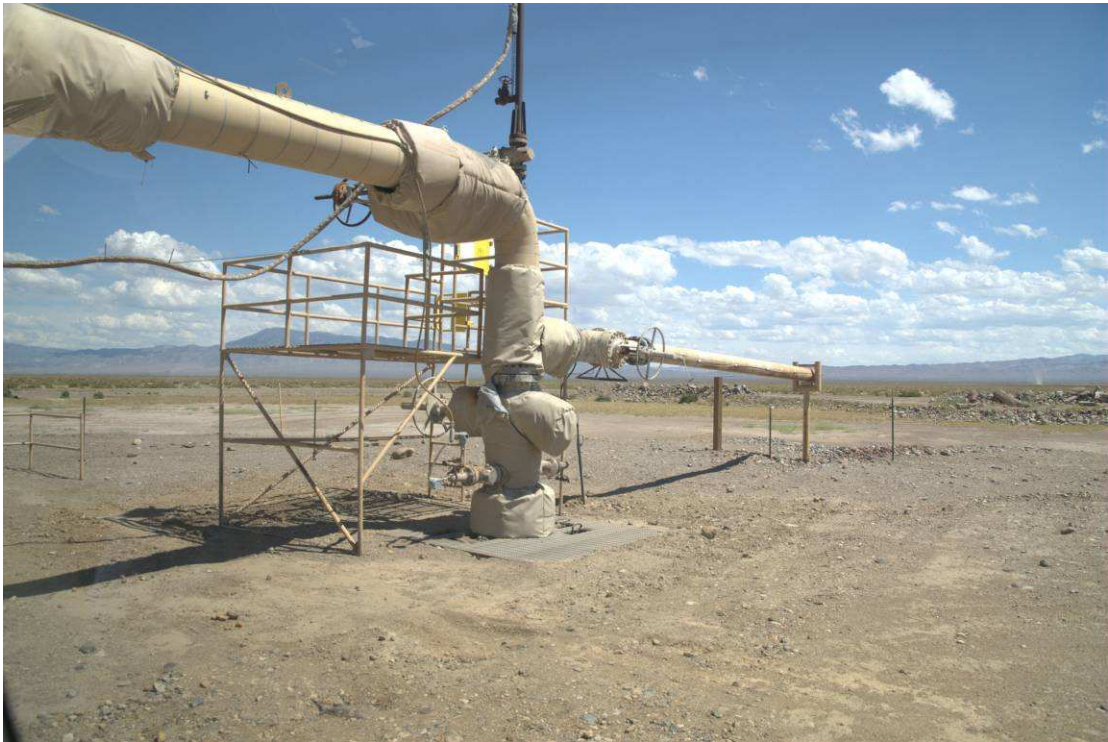


圖 18：Dixie Valley 地熱電廠之生產井



圖 19：Dixie Valley 地熱電廠生產井旁之汽水分離器



圖20：Dixie Valley地熱電廠使用之結垢抑制藥劑



圖21：Dixie Valley地熱電廠用於補充儲集層之地下水井



圖22：Dixie Valley地熱電廠對外道路及架空電源線

五、觀摩 Newberry EGS 示範實驗場

由 AltaRock energy 公司總經理 Susan Petty、副總經理 Trenton T. Cladouhos 及專案主管 Michael Moore 負責接待，內容包括：「工程地熱系統」(EGS, Engineered Geothermal System)技術介紹及 EGS 實驗說明。

New Berry EGS 示範實驗場：位於 Oregon 州中部之 Newberry 火山區，與 Bend 市距離 30 英哩(48 公里)，2008 年 Davenport Newberry LLC 於 Newberry 地區鑽鑿 2 口深達 10,000 英呎(3,048 公尺)之探測井，發現井底溫度高達 600°F(315°C)，但其中一口井是乾井，井底沒有地熱水資源，於是 Davenport Newberry LLC 在 2010 年開始與 AltaRock energy 公司合作進行 EGS 示範計畫，並獲美國能源部同意提供 2,140 萬美元(新台幣 6.3 億元)之研究經費補貼，希望將既有之無水探測井利用 AltaRock energy 公司專利技術擴張岩石之天然裂隙並注水儲集，再另鑽鑿 1 口示範生產井驗證以 EGS 技術進行地熱發電之可行性。

一般要利用高壓流體使地底岩層破裂，流體壓力需高於理論最低壓力(S_{hmin})，各不同地區之岩石特性會導致理論最低壓力各不相同，EGS 技術是以壓力高於 S_{hmin} 之高壓水注入地下岩層內破裂岩層，形成儲集水空間之技術，可用於製造地熱儲集層、增加既有地熱儲集層之儲水量、增加既有地熱生產井之產水量或使因地熱儲集層裂隙結垢阻塞而失效之生產井恢復功能，地下岩層一般皆存在天然裂隙，但乾熱岩內之天然裂隙可能因為不連續或被阻塞使水不能通過而無法儲集地熱水資源，AltaRock energy 公司的專利技術是將壓力低於 S_{hmin} 之高壓水注入既有之天然裂隙中，擴張裂隙並使裂隙兩邊之岩層產生剪力而滑動，導致裂隙不連續或被阻塞之區域因而破裂而連通，AltaRock energy 公司更利用專利之可熱裂解高分子複合物(thermally-degradable zonal isolation materials)配合高壓水於注水井內不同高度之岩層中製造更多儲集水的空間。

Newberry EGS 示範計畫目前進行至第二期，第一期自 2010 年起至 2011 年底止，任務目標包括地質調查、建立裂隙模型、地震監測及地熱儲集層電腦模擬等，第二期自 2012 年開始，任務目標為利用既有之探測井製造地熱儲集層、利用震測井探測地熱儲集層範圍及並進行注水試驗，現階段已完成地熱儲集層之製造作業，並探測到儲集層範圍可達 1 平方公里，後續將進行注水作業並再鑽鑿 1 口生產井，而 Newberry EGS 計畫以既有探測井製造地熱儲集層之成本約需 120 萬美元(新台幣 3,500 萬元)，鑽鑿 1 口生產井之成本估計更高達 850 萬美元(新台幣 2.5 億元)。



圖23：Newberry EGS示範試驗場之注水井



圖24：Newberry EGS示範試驗場之加壓注水設備



圖25：Newberry EGS示範計畫之震測井



圖26：Newberry EGS示範計畫之震測資料收集設備

參、心得與建議

一、實習心得

(一)台灣與美國再生能源政策比較

美國能源政策法最早於 1992 年開始實施，在實行 13 年後，於 2005 年修正，我國再生能源發展條例亦於 2009 年中公告施行，有關兩者之比較如表 2。

表 2：我國與美國再生能源法規比較

項目	我國再生能源發展條例	美國能源政策法
頒布時間	2009 年 6 月	1992 年，2005 年修正
推廣目標	獎勵裝置容量達 650-1,000 萬瓩	至 2013 年再生能源需達總能源 7.5%
躉購期間	20 年	減免稅金 10 年
再生能源種類	太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力、非抽蓄式水力、國內一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接或經處理所產生之能源，或其他經中央主管機關認定可永續利用之能源。	太陽能、風能、地熱、生質能（含沼氣），水力。
熱利用獎勵	太陽熱能利用、生質能燃料及其他具發展潛力之熱利用技術。	無特別規定
躉購方式	強制併聯躉購	強制規定再生能源發電比例
經濟工具	<ol style="list-style-type: none">1. 成立基金，由電業及設置自用發電設備達一定裝置容量以上者，按其不含再生能源發電部分之總發電量，繳交一定金額充作基金；用於補貼台電收購再生能源電能費用與迴避成本之價差及其他獎勵，繳交基金之費用可以附加反映至電費上，由電力消費者負擔。2. 允許政府在必要時由預算編列撥充。3. 除再生能源發展基金外，尚有石油基金、農業發展基金。	<ol style="list-style-type: none">1. 再生能源憑證制度，地區建置電力時，透過法律強制規定再生能源發電的比例，配合「綠色憑證交易」制度，使再生能源電量可在各電力網間交易，以解決地區間再生能源的差異。這一制度要求電力消費中必須有一定比例的電力來自於再生能源，而這項義務由電力供應公司承擔，沒有完成義務的公司可以向完成義務並有多餘再生能源電力的公司購買，通過轉讓的方式來完成義務。2. 公益基金，公益基金的來源是從零售電力售價中提撥 1% 至 3%，主要是用來支持相關之電力公益計畫，如再生能源的研究與發展、能源效率的推廣以及低收入戶的補助，通常用於獎勵再生能源設備

		裝置及再生能源技術的研發、或提供再生能源公司借貸等。
配套措施	<ol style="list-style-type: none"> 1. 提供設備補貼，以及補助再生能源發電示範與推廣，並未針對特殊產業。 2. 提供關稅減免、免申請雜照、放寬併聯與用地取得條件等。 3. 設有爭議強制調解機制。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 規範再生能源發電設備所產生之綠色電力，折抵設置者所消耗傳統電力後之剩餘電力，可賣回給輸配電業。 2. 批准 1 億美元改善既有的水壩效率，以增進水力發電並與環境保護取得平衡。 3. 對一般住宅因年久失修之再生能源設備提供財政援助行修復、更新。

除了能源政策法之外，美國聯邦與各州政府還採取了相當多樣的經濟激勵措施，含減稅、生產和投資補貼、電價優惠、降低再生能源產品和相關服務成本和價格等，藉以提高再生能源之市占率和經濟競爭力，而就美國再生能源發展政策而言，各州政府的表現比聯邦政府還好，一方面是因為美國聯邦體制的因素，各州政府權限較大，可以自行決定發展方向，另一方面也是因美國國土廣大，再生能源受制於天然環境因素，需因地制宜之緣故，而再生能源的發展，易受限於天然環境，開發有其侷限性，在促進新系統開發之虞，亦需回頭思考更新早期所設置之既有設備，以增進發電效率。

美國政府於 2005 年頒佈 Energy Policy Act.，規定具創新技術之再生能源電廠可向美國能源部及各州政府申請提供設備補貼及聯邦銀行貸款，但再生能源電廠需自行與電力公司協商決定售電費率並簽訂購售電契約；我國的再生能源發展條例則對地熱、海洋能等再生能源新技術提供設備補貼，而各類再生能源售電費率則由政府統一公告，依據 2013 之公告費率，我國之地熱發電躉購費率高於美國地熱發電業者之售電費率，可增進廠商投入地熱發電之開發之意願。

(二)台灣與美國地熱資源及開發技術比較

地熱發電技術可分為地熱資源探勘、地熱資源開發、發電廠建置、地熱電廠經營等四項，美國對地熱資源之探勘方法是先以人造衛星大範圍掃描以定位斷層存在之可能區域，再用飛機針對斷層可能存在區域進行航空精密掃描，建構全國地下 10 公里之三維地溫梯度資料，最後鎖定最可能之地區鑽鑿探測井以確認地熱資源；美國落磯山脈西部沙漠地區土地廣闊且人煙稀少，但地層中熱能豐沛，雖降雨少但冬季降雪多可補充地層中之水資源，造就其優越之天然地熱條件；在美國政府政策性支持、先進鑽井技術及地熱發電技術投注下，帶動地熱發電產業蓬勃發展，目前裝置發電容量居世界第一位，更提供技術支援協助菲律賓及印尼等國發展地熱發電；此次觀摩之地熱電廠所在區域皆為人跡罕至之沙漠地區，因降雨量少，各電廠之發電機組皆採開放式建置，並未使用建築物進行隔絕保護，而電廠附近並無火山活動，地熱儲集層溫度在 140~250℃ 之間，鑽井深度

依各電廠之地熱條件不同約為 750~3000 公尺，美國早期開發之舊型地熱電廠以乾蒸汽與閃發蒸汽渦輪機組搭配濕式空氣冷卻系統為主，近幾年新開發之地熱電廠則以雙循環式機組搭配乾式空氣冷卻系統為主。

美國近期地熱發電開發應用之雙循環發電技術可利用較低溫之地熱水，而地熱水與工作流體屬不同之循環過程，地熱水僅需經過生產井-熱交換器-回注井之循環，對比蒸汽渦輪發電之循環相對簡單，可用物理方式直接對生產井及回注井分別加壓維持地熱水之壓力防止產生結垢，可增加多目標利用之可行性並避免添加化學性抗結垢藥劑造成地熱水污染問題。

我國早期雖也有中油公司投入地熱井鑽鑿行列，但自民國 80 年代中斷以後中油即無地熱探勘相關計畫執行，導致地熱鑽井技術中斷，工研院早期亦曾進行地熱計畫以培養專業之地熱鑽井人才，但早期之探勘目標僅在淺層(500~1000 公尺)且未開發定向鑽探技術，且工研院之鑽探團隊亦因地熱計畫結束而解散，鑽鑿技術並未傳承；民國 94 年起經濟部能源局重新委託工研院進行地熱資源探勘、評估、地熱資源儲集層管理等相關技術研發，並進行小型發電機組運轉測試，由於地熱探勘鑽鑿技術中斷已久，近幾年之新地熱探勘井鑽鑿工作改由民間之鑿井公司接手，由於缺乏深井定向鑽鑿設備及經驗，使新地熱探勘井工作遭遇許多困難，地熱井的產能對地熱電廠的開發與否具有決定性的影響因素，美國地熱鑽探工作因適時引進石油公司的專利鑽探技術，生產井的鑽鑿深度可達 2000~3000 公尺，未來國內要發展地熱資源，勢必面臨用地取得不易且鑽鑿深度較大的問題，若無石油公司(如中油)或國外深井與定向鑽鑿技術團隊的協助，地熱資源開發仍面臨相當大的挑戰，如何適時將國外深層且可定向之鑽鑿技術引進，為我國地熱資源開發的重要課題；除鑽鑿技術之外，國內在地熱資源探勘、發電潛能評估、產能試驗、地熱井維修、化學結垢抑制技術及生產模擬技術等，均有良好之技術基礎。

我國主要地熱潛能區除大屯火山區外均為變質岩型地熱，地熱儲集層深度約 1000 公尺~2000 公尺，溫度約 150~220°C 之間，蒸汽含量<20%，過去國科會曾在宜蘭清水地熱區設置 3MW 電廠，但清水地熱因地熱蒸汽產量逐年衰減以致發電量亦隨之遞減，而於民國 82 年 11 月停止發電運轉，累計運轉時間長達 12 年有餘，另民國 74 年經濟部能源局委託工研院在宜蘭縣土場地熱區，進行地熱多目標利用示範計畫。為有效利用地熱水所含熱能，裝置 260 KW 雙循環(Binary)發電機組，進行地熱發電試驗，經數年運轉試驗証實，發電效率頗佳，地熱產能在適當調節控制下並無衰減現象，結垢問題也獲得適當控制。民國 83 年由於該計畫已完成階段性任務而終止。

由台灣地熱資源來看，台灣地熱資源之產水量遠多於產汽量，又曾發生清水地熱過去因結垢問題導致失敗之開發經驗，故應用生產井、回注井加壓配合雙循環發電技術應可最大化利用台灣之地熱資源又可避免污染儲集層之水質。

對推動我國地熱發展而言，美國具有先進之地熱發電技術、能源部與各州政府可提供設備費用補貼、地熱電廠位處沙漠地區，可開發範圍大，而環境影響評估所需時間僅需約 8 個月等優勢，皆為美國持續投注資源大量開發地熱資源的重要因素，而我國目前開發地熱皆需進行環境影響評估審核且審核期程最少 2 年，另人口稠密及與溫泉業者競爭地熱資源等皆為開發地熱發電所需面對之問題；大屯火山區為我國初步評估地熱開發潛能最高的區域，若要開發地熱發電使用則需克服國家公園土地使用限制、環境影響評估及使用抗酸性熱液腐蝕的管線材料需較高成本等問題。

二、 建議

(一)地熱資源開發在探勘初期需投入相當大財力但風險極高，美國以衛星及航空之先進技術進行地熱資源先期探勘，待可開採資源較確認後，再以政策吸引廠商投入資金、設備及技術進行開發，使其地熱發電站穩世界第一的地位，在日本 311 大地震引發核電廠事故之後，世界各國紛紛重新檢討能源政策，地熱發電由於具備較穩定且可自主的特性，可成為未來國家重要之自產能源，針對如何促進我國地熱發電之發展，提出以下數個建議，供我國未來發展地熱發電的參考：

(1) 政策面

地熱探勘為地熱資源開發風險最高的一項，初期探勘階段由於對資源的掌握度不足，導致探勘井失敗之機率相當高，依據國外企業投資地熱發電之經驗，因對資源掌握度不足，導致投資成本劇增的例子屢見不鮮，建議先利用國家資源優先蒐集、評估及分析國內各區域地質及地溫分布資料，接著進行台灣地熱資源潛能評估，推動 EGS 先期產業研究，建立台灣地熱之三維地溫梯度資料、分析地熱發電經濟性與產業效益、以二氧化碳作為熱交換流體發電之先進技術研究，以及發展 EGS 相關地質工程分析技術，然後由政府單位協助取得銀行專案貸款等，以創造有利之投資條件，吸引國內外資金投入。

(2)法規面

地熱電廠機組運作時與火力機組相同皆會產生大量之噪音，而台灣可供開發地熱發電之區域大多鄰近人口稠密區，不像美國沙漠地區漫無人煙，地熱電廠機組應採封閉式設計，以建築物隔絕噪音，避免對地熱電廠周圍環境之破壞，另可參考日本最近的作法，針對國家公園等特定地熱發電潛能高區，修訂土地相關法規與環境影響評估等相關法規，適度開放使用，以加速地熱發電之發展。

(3)技術面

台灣地處亞熱帶地區，年平均溫度高，使用乾式空氣冷卻系統易受高溫影響而減低發電效率，採濕式冷卻系統的冷卻效率可較乾式冷卻系統提高 29

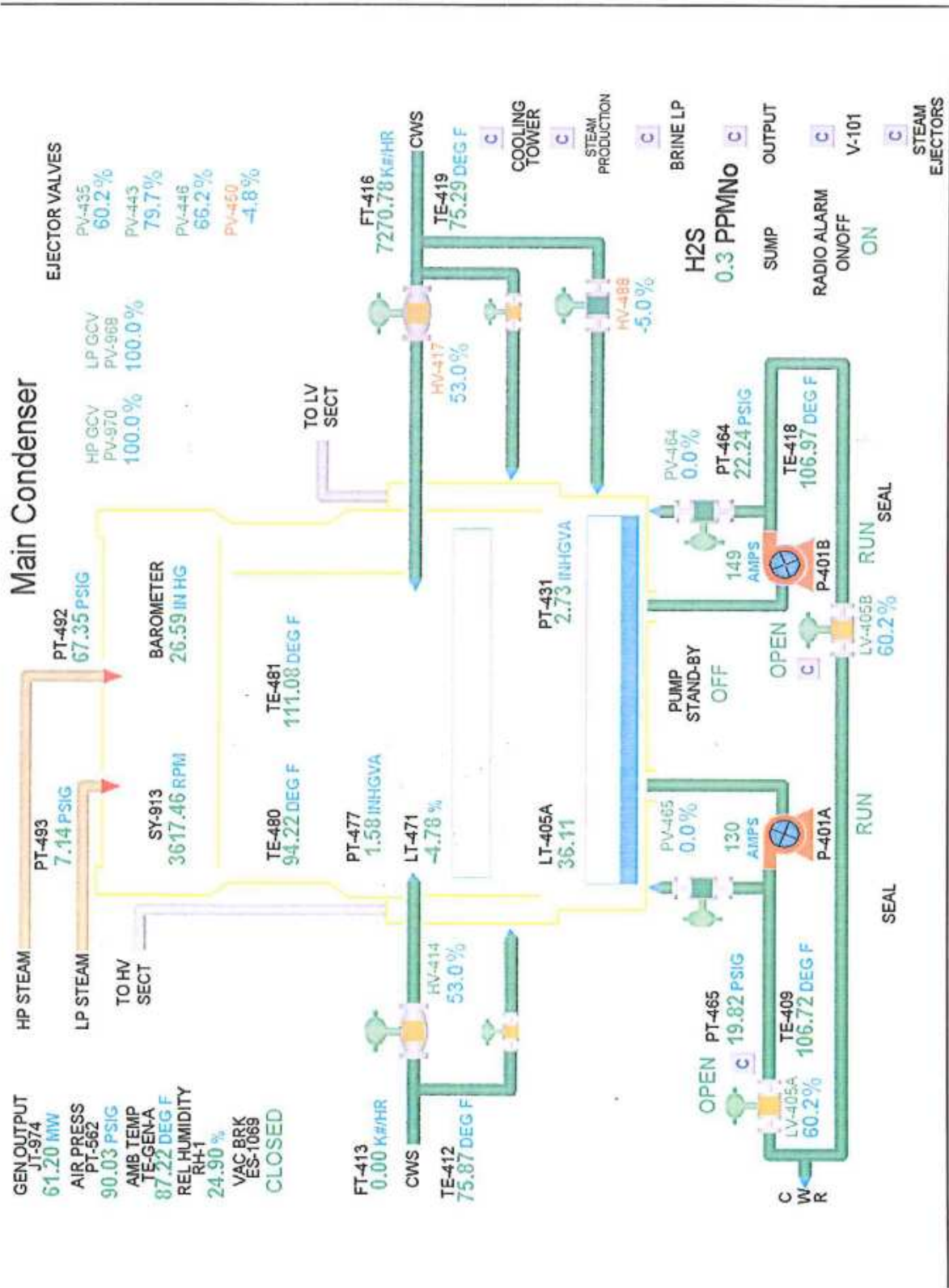
倍，所需使用面積卻小 1 倍，且台灣降雨量多，水源豐沛，建議台灣若開發地熱電廠可使用濕式冷卻系統以維持電廠之穩定輸出，另地熱電廠若建於台灣南部，可於廠房搭配屋頂型太陽光電系統以增加電廠之發電量及營收，不過因太陽光電與地熱發電之躉購費率不同，雖可共用電源線但仍需分別裝設電表計量太陽光電與地熱之發電量。

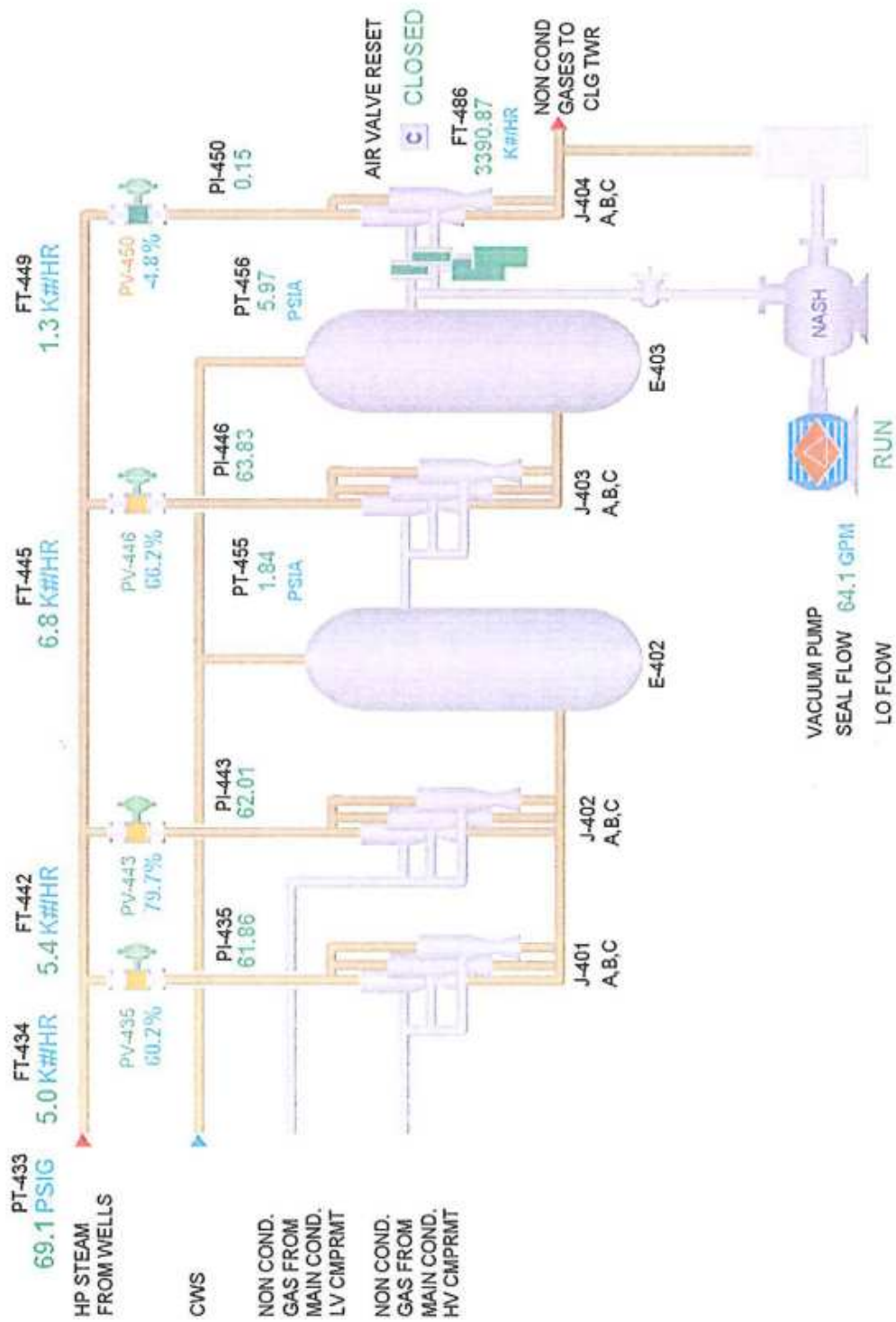
- (二)在地熱電廠開發方面，清水地熱資源的地質與生產井的探測資料遠較其他地熱區齊全，建議以擴大開發宜蘭清水地熱作為短期目標，中期(3~5 年)開發綠島地熱為基載電源，長期則以大屯火山區及 EGS 為主軸，宜蘭清水地熱之發展可配合工研院之小型示範電廠及宜蘭縣政府地熱電廠 ROT 時程，擴大設置地熱發電廠以建立國內地熱發電之基礎；綠島地區具有豐富之海水資源且僅需小型發電機組(約 2 MWe)即可提供居民日常生活之所需，若在綠島開發地熱示範系統可以取代基載之柴油發電機，更可利用海水冷卻系統以避免使用空氣冷卻系統可能導致夏季發電效率降低之情況，若地熱發電能開發成功則綠島除可降低發電成本外(約 8~9 NT/度)，更可成為一個地熱發電示範島，有助增加於綠島觀光資源及經濟之提升；大屯火山區為我國地熱發電潛能最高之區域，應盡速展開地熱資源探勘調查，以確認地熱資源儲藏之範圍。
- (三)清水地熱資源為汽水混合型，現運轉中之示範電廠只規劃使用雙循環系統，將蒸汽全數排放，實屬浪費，以 Dixie Valley 電廠之經驗，若規劃適當，使用閃發式蒸汽渦輪發電也可順利維持運轉 30 年以上，故建議清水示範電廠應以閃發式蒸汽與雙循環機組共用並搭配濕式冷卻系統之規劃，可最有效提高地熱資源使用效率。
- (四)EGS 為世界各國積極發展之先進地熱發電技術，EGS 開發之最佳地質結構需地底存在熱導性佳的火成岩層，台灣的澎湖、陽明山與和東部都有類似的地型，若可成功發展 EGS，除可擴大地熱資源可開發範圍外，對減少化石燃料資源的依賴度及節能減碳亦具有莫大貢獻。
- (五)地熱井鑽鑿技術是地熱開發最關鍵之技術，國內技術發展中斷已久，建議適度引進美國之技術與人才，借重其經驗提高國內地熱鑽井之成功率。
- (六)根據 Power Engineers 公司規劃開發地熱電廠之經驗，地熱開發從資源探勘到營運發電之期程約 7 年，前 4~5 年主要進行資源探勘及風險評估，且前期這一部份工作是地熱電廠規劃最重要的工作，且跟區域地質條件息息相關，因此建議政府應積極針對國內之地熱潛能區進行更深入之探勘及評估，並鼓勵及開放民間業者共同參與地熱探勘工作，以建立完整之地熱資源三維地溫梯度資料，可縮短地熱電廠開發時程，以利國內推動地熱發電產業。

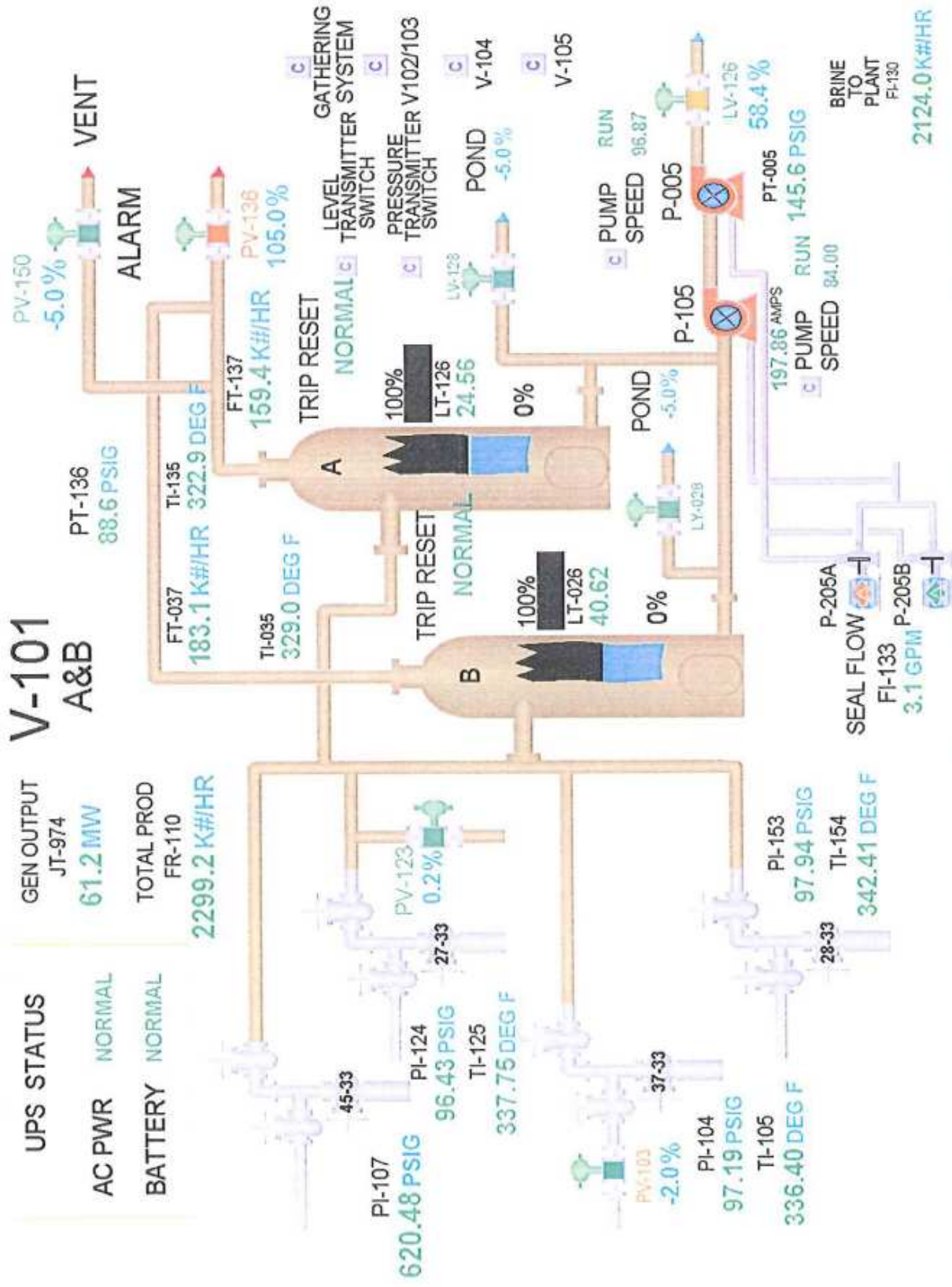
三、 誌謝

本次出國特別感謝經濟部台美產業合作推動辦公室連結組曾馨慧經理及美國愛達荷州亞太區辦事處代表Eddie Yen、國際貿易專員Jennifer Verdon及Power Engineers公司協助本次團隊行程安排及隨團參訪，使本次團隊得以順利成行。

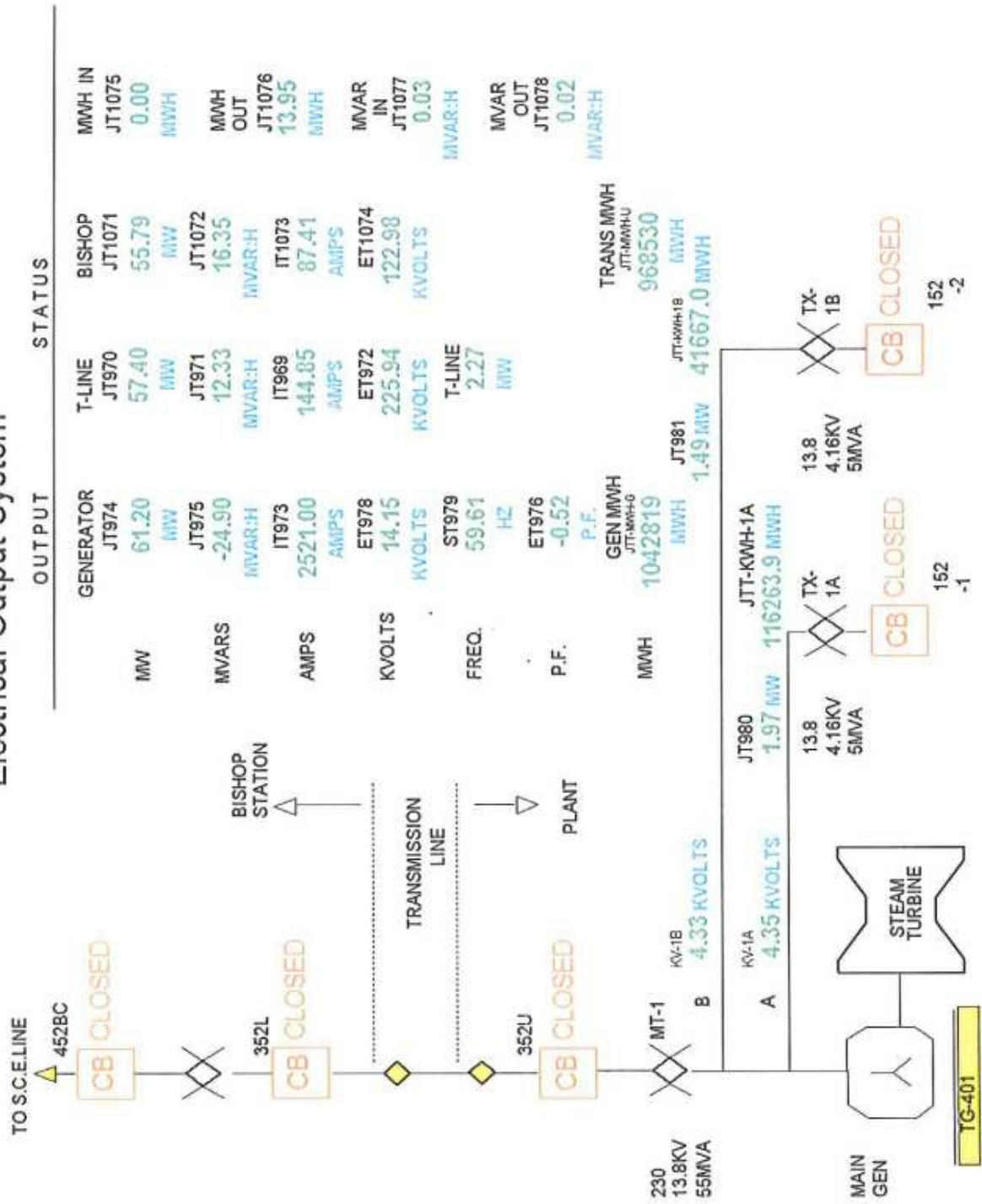
附錄：Dixie Valley 地熱電廠系統圖





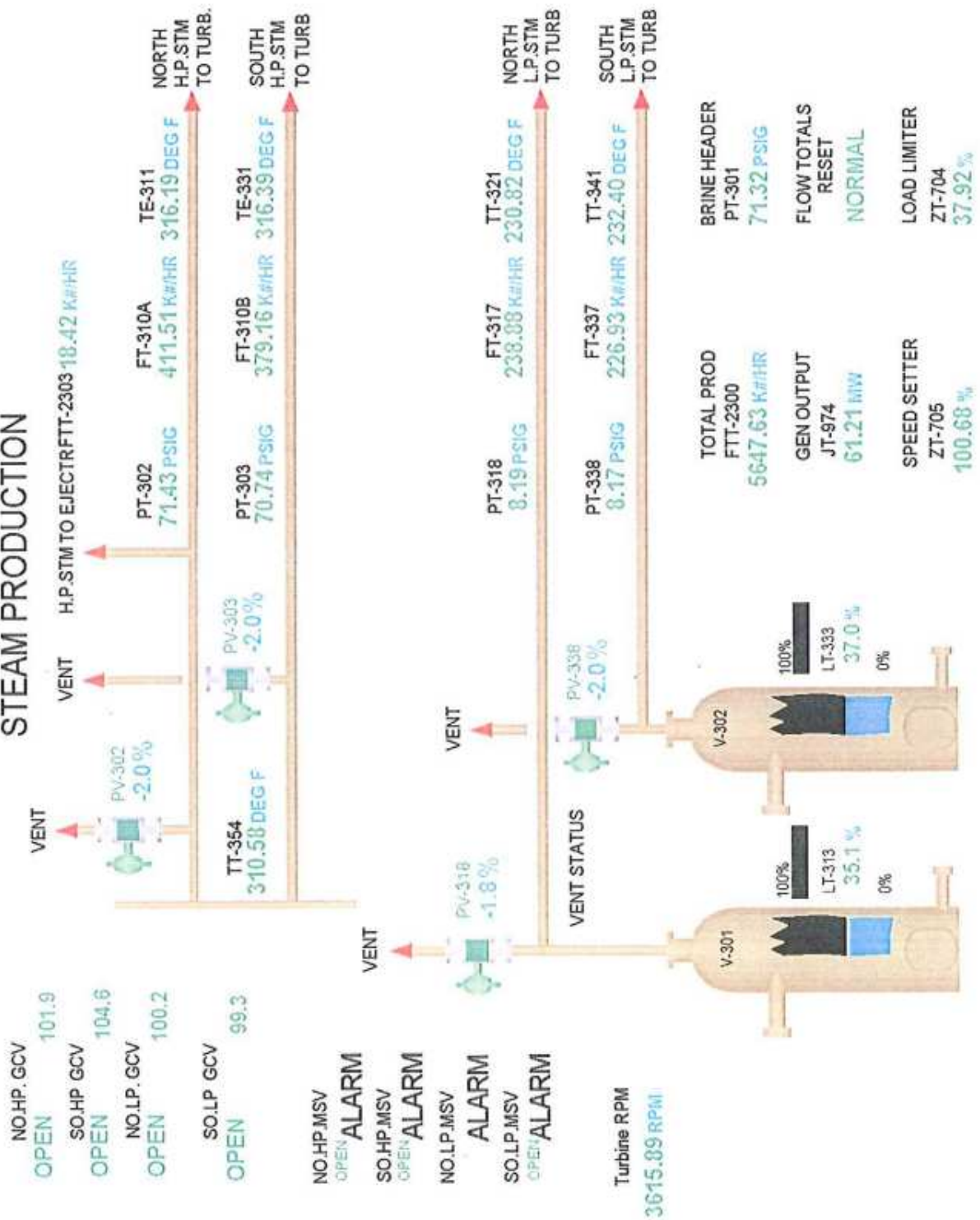


Electrical Output System

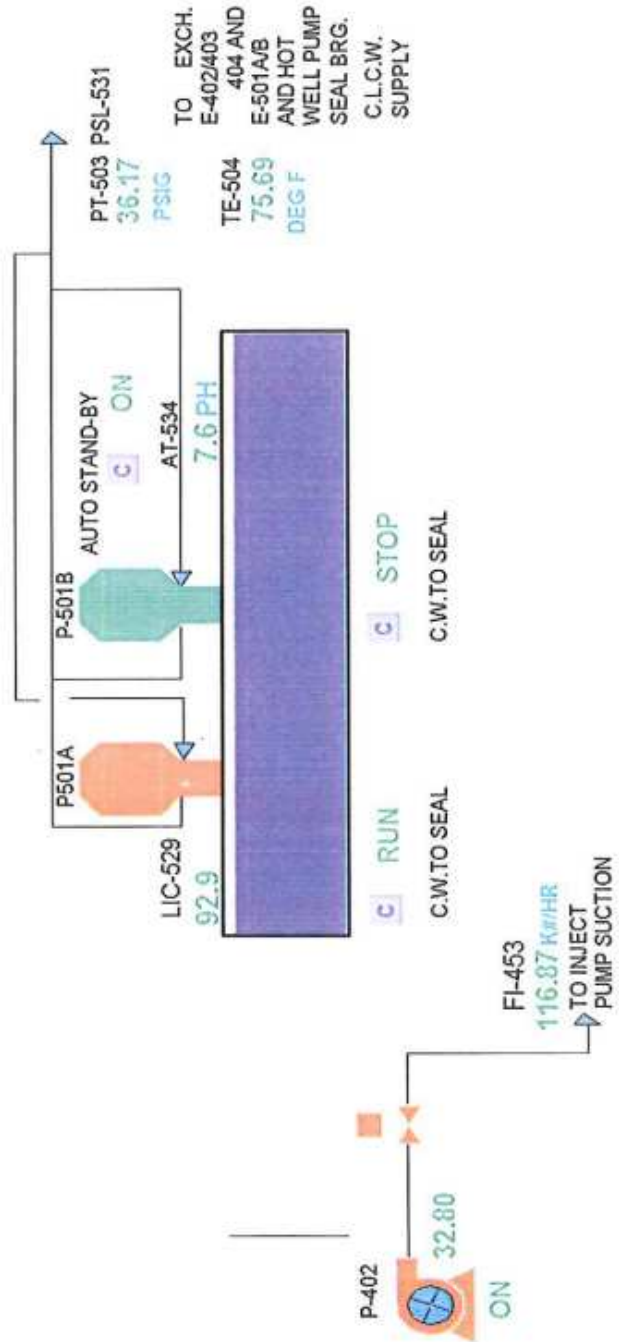
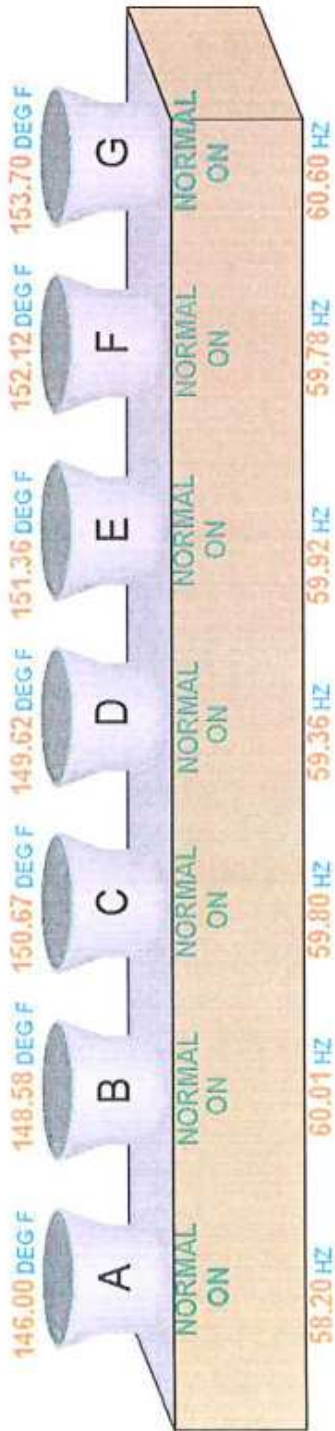


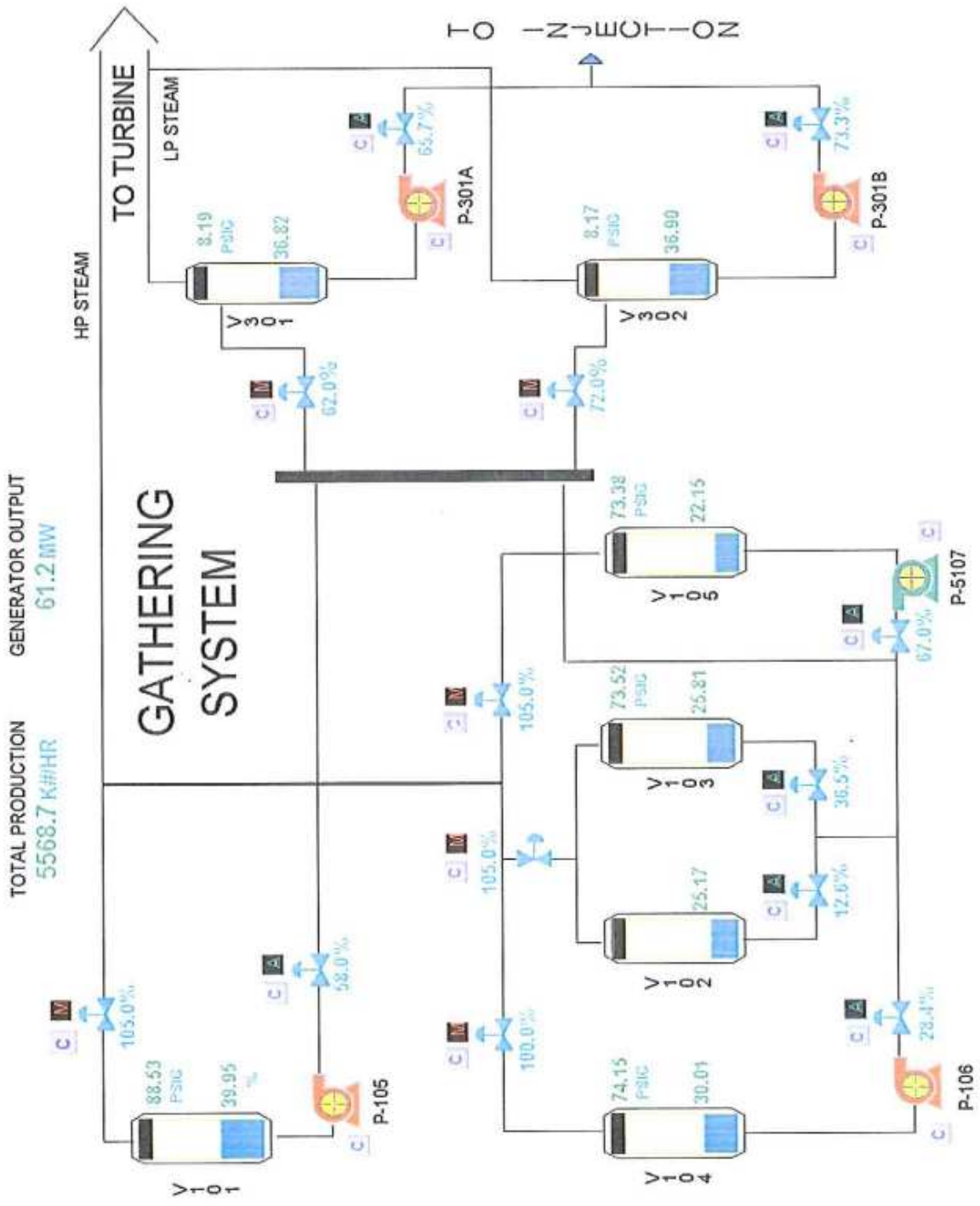
OUTPUT		STATUS	
GENERATOR	BISHOP	T-LINE	BISHOP
JT974	JT1071	JT970	JT1071
MW	MW	MW	MW
61.20	55.79	57.40	55.79
MVAR	MVAR	MVAR	MVAR
JT975	JT1072	JT971	JT1072
-24.90	16.35	12.33	16.35
AMPS	AMPS	AMPS	AMPS
IT973	IT1073	IT969	IT1073
2521.00	87.41	144.85	87.41
KVOLTS	KVOLTS	KVOLTS	KVOLTS
ET978	ET1074	ET972	ET1074
14.15	122.98	225.94	122.98
FREQ.	FREQ.	FREQ.	FREQ.
ST979	ST979	ST979	ST979
59.61	59.61	59.61	59.61
P.F.	P.F.	P.F.	P.F.
ET976	ET976	ET976	ET976
-0.52	-0.52	-0.52	-0.52
MWH	MWH	MWH	MWH
JT980	JT980	JT980	JT980
1.97	1.97	1.97	1.97
MWH	MWH	MWH	MWH
JT981	JT981	JT981	JT981
1.49	1.49	1.49	1.49
MWH	MWH	MWH	MWH
JTT-KWH-1A	JTT-KWH-1A	JTT-KWH-1A	JTT-KWH-1A
116263.9	116263.9	116263.9	116263.9
MWH	MWH	MWH	MWH
JTT-KWH-1B	JTT-KWH-1B	JTT-KWH-1B	JTT-KWH-1B
41667.0	41667.0	41667.0	41667.0
MWH	MWH	MWH	MWH
JT1075	JT1075	JT1075	JT1075
0.00	0.00	0.00	0.00
MWH	MWH	MWH	MWH
JT1076	JT1076	JT1076	JT1076
13.95	13.95	13.95	13.95
MWH	MWH	MWH	MWH
JT1077	JT1077	JT1077	JT1077
0.03	0.03	0.03	0.03
MVAR	MVAR	MVAR	MVAR
JT1078	JT1078	JT1078	JT1078
0.02	0.02	0.02	0.02
MVAR	MVAR	MVAR	MVAR
JT1079	JT1079	JT1079	JT1079
968530	968530	968530	968530
MWH	MWH	MWH	MWH

STEAM PRODUCTION



AMBIENT TEMP.
87.02 DEG F





UPS STATUS	
AC PWR	NORMAL
BATTERY	NORMAL

V-102/103

TOTAL PROD
FR-178
1218.6 K#/HR

GEN OUTPUT
JT-974
61.1 MW

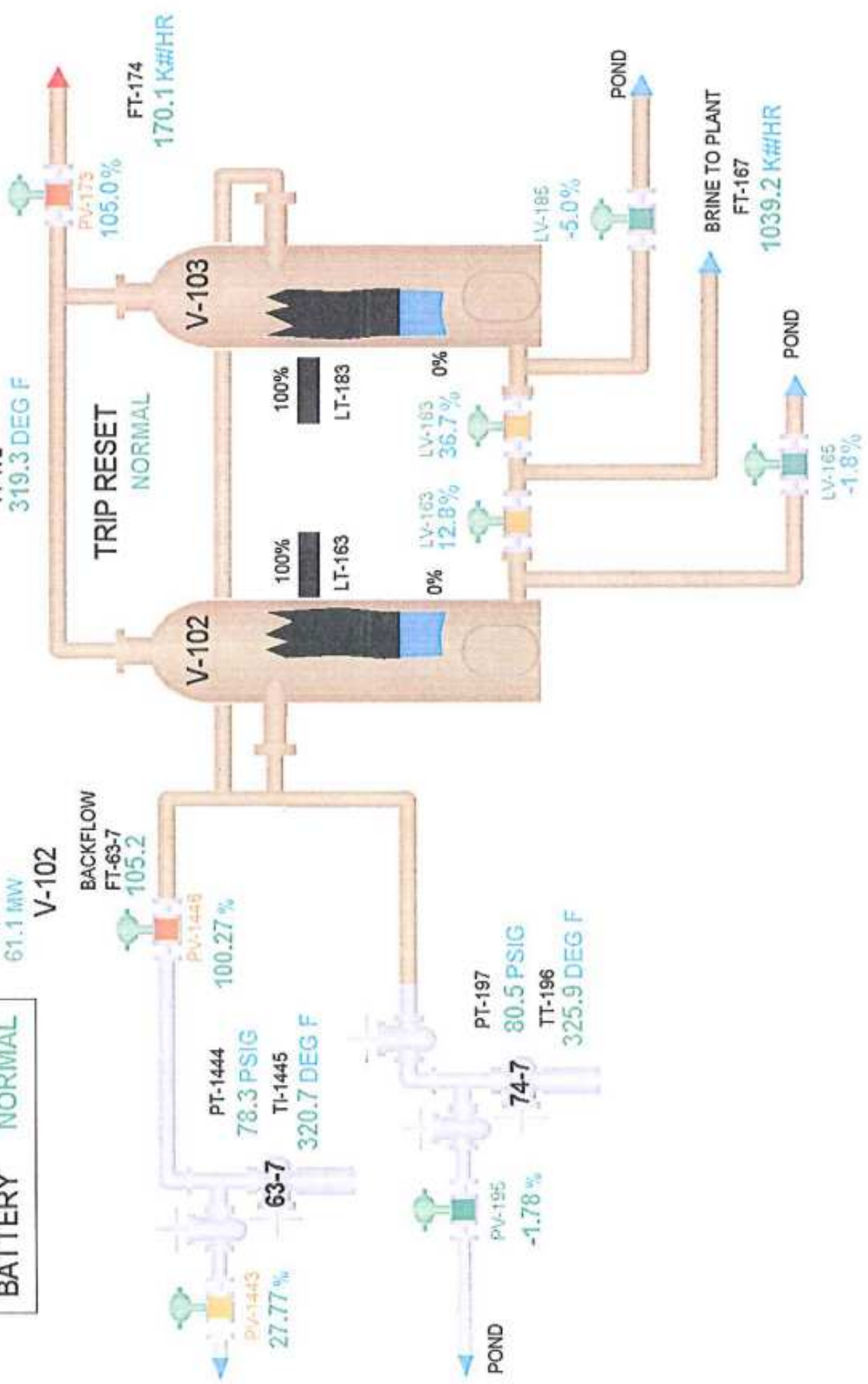
V-102

ALARM

PT-173
73.5 PSIG

TT-172
319.3 DEG F

TRIP RESET
NORMAL



V-105

UPS STATUS
AC PWR NORMAL
BATTERY NORMAL
TOTAL PROD FR-5441 1186.3 K#/HR
GEN OUTPUT JT-974 61.1 MW

