

氣候變遷調適成本效益個案分析—以火力發電廠水災為例

蘇衍綾^{1*} 徐玉杜²

摘 要

為了避免能源供給設施乃至產業受極端氣候事件之衝擊與影響，能源產業應儘早進行調適策略規劃。本文旨在量化調適措施之成本效益，以利該產業面對氣候變遷時規劃適當的調適措施，因此文中試以從某一發電廠可能面臨的淹水風險設施擬訂調適措施，進而計算該調適措施的成本效益。分析過程中，假設情境為發電廠所在地區發生高於排水系統設計值(960 mm/日)之暴雨(鄰近雨量站資料顯示其為250年重現期規模)，廠內來不及處置，發生淹水大於1米以上，造成該廠無法供電(缺電) 10天。為避免上述損失可增設防水閘門及抽水機，其為調適的成本，而避免發生災害時造成損失的金額為調適的效益。由案例分析可知，此發電廠之最低淨現值為-10,809,020元，益本比為0.03；若以不需調度其他發電單價較高的機組之成本差異視為避免發電損失的金額，其電力公司於非用電尖峰時段，淨現值為16,323,990元，益本比為2.47；於用電尖峰時段，淨現值為39,792,225元，益本比為4.58；納入各產業及全臺電力用戶損失計算，最高淨現值為102,347,381元，益本比為10.21。研究結果顯示，以發電廠本身考量，其成本高於效益；但若以電力公司角度或納入各產業全臺電力用戶評估，則效益會遠高於成本，亦即以防水閘門及抽水機作為調適措施是具有效益的。此外，初步對評估參數進行不確定性分析顯示其變異量相當高，而主要因素為選擇鄰近雨量站是否具有足夠之代表性。

關鍵詞：氣候變遷、發電廠、調適措施、成本效益

1. 前 言

依據聯合政府間氣候變遷委員會(IPCC)於2007年發布的第四次全球氣候變遷評估報告(AR4)顯示，本世紀末氣溫將上升約1.8至4°C，海平面上升0.18至0.59公尺，當中由於遞延效應的影響，造成即使未來人類積極進行溫室氣體減量，地表的溫室氣體濃度以及溫度都將持續上升，此效應將使得氣候變遷趨勢改變及變異性持續增大(IPCC, 2007)。於氣候變遷事件之

衝擊下，既有之能源供給設施標準是否足以因應現在及未來更為嚴峻的氣候情景，將有可能為相關地區帶來更嚴苛的能源及設施安全性風險。近年來各國亦已逐漸重視調適相關議題，期望在未來氣候情境假設條件下，規劃出能力所及與成本有效之因應措施(Moss *et al.*, 2010；Carter *et al.*, 2011)。英國環境、食品與農村事務部(Department of Environment, Food & Rural Affairs, Defra) (2013)在國家調適方案中提及，英國持續的推動調適相關產業，估計市場成長

¹ 工研院綠能與環境研究所 副研究員

² 工研院綠能與環境研究所 資深研究員

*通訊作者, 電話: 03-5912325, E-mail: yenlingsu@itri.org.tw

收到日期: 2014年07月22日

修正日期: 2014年09月04日

接受日期: 2014年09月23日

率每年將超過5%，並可提供相關技術的工作機會，且在氣候的恢復力增加後將可節省成本與其相關費用，據專家估計，每投資1英鎊在提升恢復能力上，將可避免4英鎊的災害損失。由此可知，英國相當重視調適之議題並認為調適產業之前景看好。除此之外英國案例中調適效益亦大於調適成本，與本文評估結果相同。但在資源有限下，欲了解眾多調適措施之投資是否具有效益以進行後續規劃，則可將其貨幣化(UNFCCC, 2002)。本文嘗試將調適措施進行成本效益之評估，透過調適可避免廠內設備損壞、避免增加發電廠與電力公司的發電成本以及電力用戶的缺電成本等，以此了解執行調適措施之成本效益，後續可用於是否執行調適措施之參考。

2. 調適效益與成本

因氣候變遷可能產生的災害而導致重要設施的毀損，經由調適即可減少甚至是避免災害的損失，另外亦可增加各產業用電的穩定性(避免缺電成本)及增進生活品質等效益。以上即為調適的效益，因此災害損失的推估，為計算調適效益的基礎。

另外根據「能源產業氣候變遷調適行動輔導計畫」文中，是以暴雨沖毀、濁度與漂流木以及暴雨淹水對於發電廠之重要設施進行調適策略(經濟部能源局，2012)。本文則是根據這些策略與該發電廠以及電力總公司環保處開會討論得到最佳的調適方式與其建造費用，以此作為因調適所增加的支出，因此本文將該筆費用作為調適成本的估算。

2.1 調適效益

根據「河川治理及環境營造規劃參考手冊」以及「區域排水整治及環境營造規劃參

考手冊」，將效益分為可計效益與不可計效益。其中可計效益為金錢能衡量(可貨幣化)，又分為直接、間接以及其他附加效益；不可計效益之資料目前雖然難以貨幣化但仍可持續蒐集，以供後續決策之參考(水利署，2006；Metroeconomica, 2004a)。

本文以調適措施可避免設備損失以及避免增加發電成本等支出，作為直接效益；另外發電量減少，將會導致缺電促使社會成本提高，因此以經調適措施可避免發電量減少的缺電成本為調適的間接效益；最後不可計效益包括供電穩定提升生活品質、能源安全提升生命財產之保障、增加人民對政府的向心力、提升國際形象等，將上述效益彙整至圖1。

(1) 直接效益

經建會(2008)表示直接效益為投入直接成本後，產出直接財務與勞務之價值，對於投資者有直接產生影響的經濟效益，因此本文之直接效益包含避免設備損失與發電成本。

於避免增加發電成本之計算必須先參考台電網站發布的102年度備用容量率預估值³為17.9% (10202方案預估值)。以此基準下，若該發電廠因氣候變遷之氣候衝擊造成無法發電，其原本的發電量必須以成本較高、排序較後面的機組代替發電，其將導致發電成本增加。

後續將運用全臺各機組之淨尖峰供電能力計算直接效益，其中分為避免增加發電廠、用電尖峰及非用電尖峰時電力公司的發電成本等計算結果。由於本文計算以火力發電廠為例，因此發電成本(元/度)⁴為參考台電網站之民國101年各火力機組運轉重要指標中各機組的平均值表示。

(2) 間接效益

經建會(2008)表示間接效益為計畫原生或衍生活動之結果所產生之價值，屬於間接影響，可歸屬於特定受影響團體之經濟效益。本

³ 102年度備用容量率，於2013年11月28日取自台灣電力公司網站，<http://stpc00601.taipower.com.tw/loadGraph/loadGraph/SpinningReserve.html>

⁴ 民國101年各火力機組運轉的發電成本，於2013年11月28日取自台灣電力公司網站，http://taipower.eki.com.tw/content/new_info/new_info-b14.aspx?LinkID=6

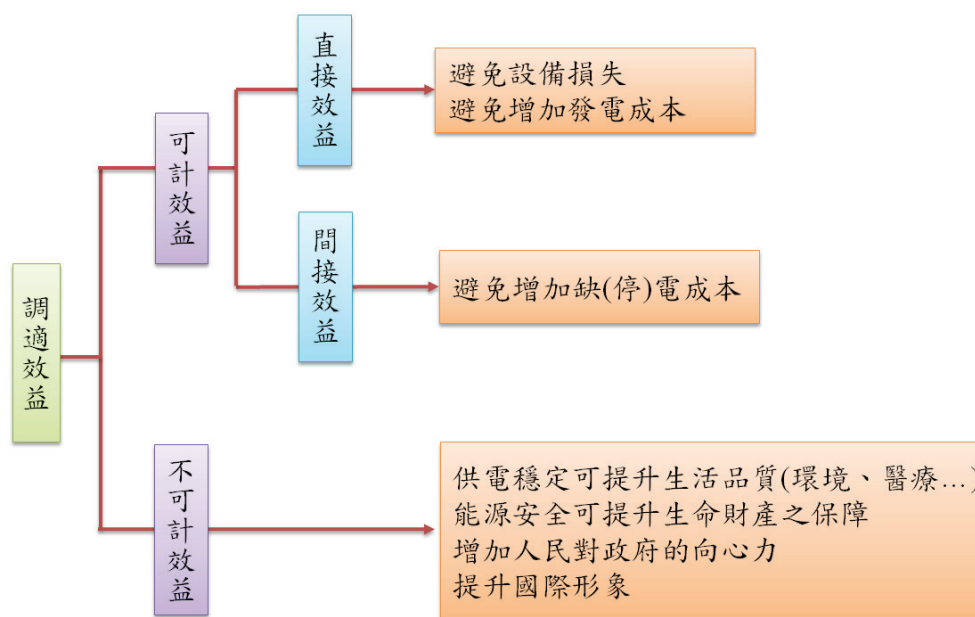


圖1 調適效益
(資料來源：本研究繪製，2014)

文考量於氣候變遷之衝擊下可能會使發電量減少，將會導致缺電促使社會成本提高，因此間接效益是以減少各產業生產停滯或電力用戶之缺電成本乘上全臺總負載量減少1.25小時的發電量以及負載損失率計算(台灣電力，2010)。

(3) 其他附加效益

其他附加效益則是為了其他目的，而非計畫原生或衍生活動之結果所產生的價值。本文目前無相關費用資料，因此暫不列入計算。

2.2 調適成本

於氣候變遷下，為了避免氣候衝擊而影響電廠設施或發電量，因此針對影響的設施進行維護保養或是額外購置之費用，如定期實施廠區排水系統等預防保養作業、降雨預報達豪大雨等級以上即施行廠區排水系統清理工作、相關的抽水設備、防水閘門等，該發電廠各設施之調適措施費用，本文將其列為調適成本。

3. 評估方法

於氣候變遷下造成能源供給穩定度降低，進而容易產生電力中斷發電量減少。此將直接

衝擊生活與生產力，造成社會與企業成本直接與間接的損失。但對於電力供給之停電損失不易量化，因此可藉由用戶缺電成本之量化後得以衡量。其中依據(楊豐碩等，2011)等彙整缺電成本之評估方法，本計畫進一步將其方法運用於氣候變遷影響評估之調適成本效益中，如圖2所示。

步驟一、於氣候變遷下，容易造成降雨型態改變。對於該發電廠之潛在直接衝擊為暴雨淹水及暴雨沖毀的風險增加，進而造成潛在間接衝擊為能源供給穩定度降低。因此該電廠之部門衝擊即為設備損壞、發電成本以及電力用戶的缺電成本增加。

步驟二、經濟評估準則之缺電成本的評估方法有：總合資料(替代)估計法、市場行為估計法、問卷調查估計法。

步驟三、分析方法依序為平均電價法、國內生產毛額法、工資法、投入產出法、線性規劃法，以上5類均為總合資料(替代)估計法；消費者剩餘法、備用電力法、用戶認購法，以上3類均為市場行為估計法；涵蓋損失列計法、揭露法，以上2類為問卷調查估計法(歐陽利姝，2010；賴俊穎，2011；陳望曾，2005)。

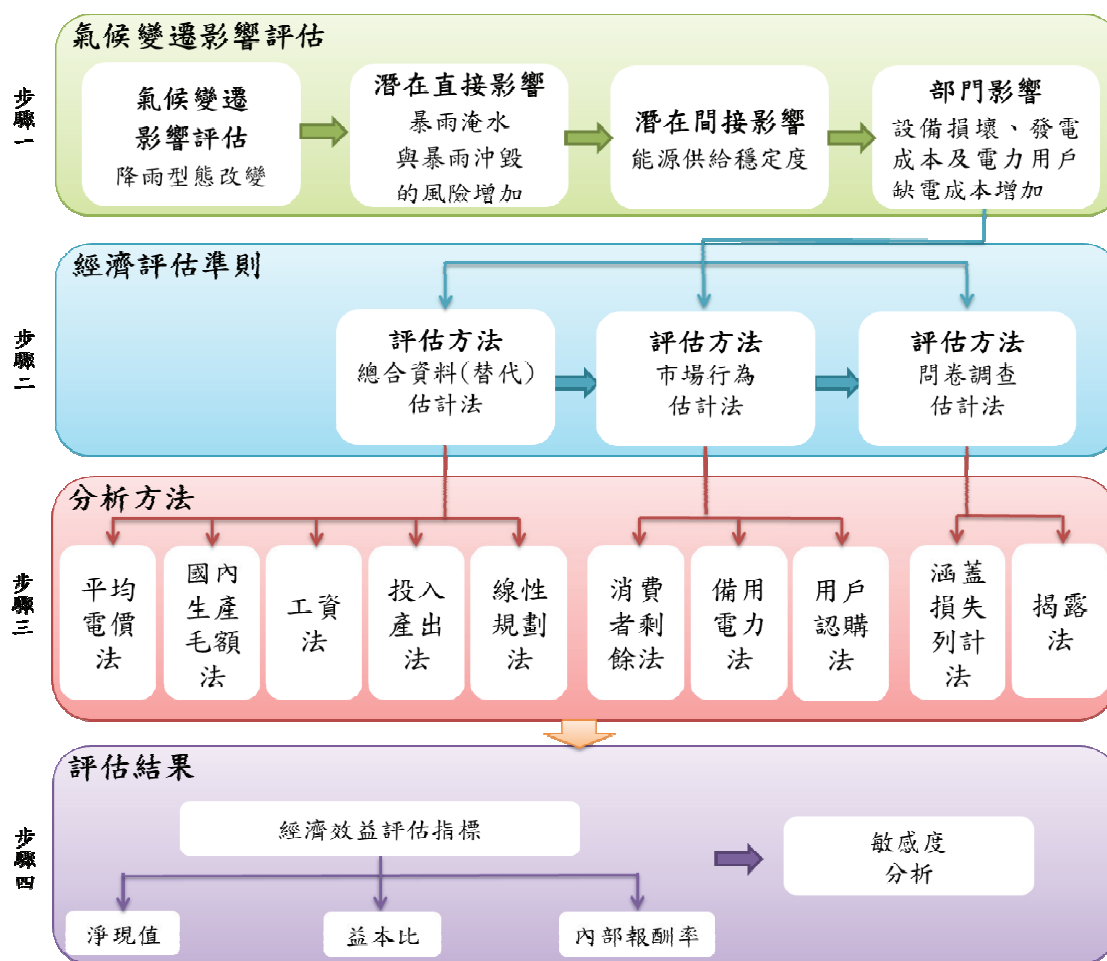


圖2 調適成本效益之評估方法
(資料來源：本研究繪製，2014)

經過上述三個步驟後，最後步驟四評估結果之經濟效益評估指標分別為淨現值、益本比及內部報酬率。其中淨現值 >0 為可投資，淨現值 <0 為不投資；益本比 >1 為可投資，益本比 <1 為不投資；內部報酬率 $>$ 市場利率為可投資，內部報酬率 $<$ 市場利率為不投資。最後以敏感度分析計算風險不確定性，即可經由以上資訊做為決策依據(行政院環境保護署，2012；蕭代基，2012；施友元，2010；Metroeconomica, 2004b)。

4. 案例分析

此發電廠位於高雄市，廠區面積135公

頃，為全臺前5大火力發電廠。廠內設置4部燃煤汽力機組和5部天然氣複循環發電機組，約佔本島總電網發電裝置容量8%，若僅納入煤、油、氣等燃料類型(排除再生能源等)之發電裝置容量約佔11%。由此可知此發電廠對整體能源供應系統之重要性，故挑選此發電廠進行調適成本效益之評估。

於Safe Taiwan安全臺灣⁵中將淹水潛勢圖資料來源分為水利署與國家災害防救科技中心兩單位，其中水利署的一日累積雨量又有450 mm、600 mm以及200重現期。由圖3可知該發電廠所在地區一日累積雨量達600 mm時，將造成廠外淹水1-2米；一日累積雨量達200年重現期時，將造成廠內淹水0.5-2米以及廠外淹水0.5-3米。

⁵ Safe Taiwan安全臺灣：風險管理協作平台，於2014年05月15日取自交通部公路總局網站，<https://www.safetaiwan.tw/>。

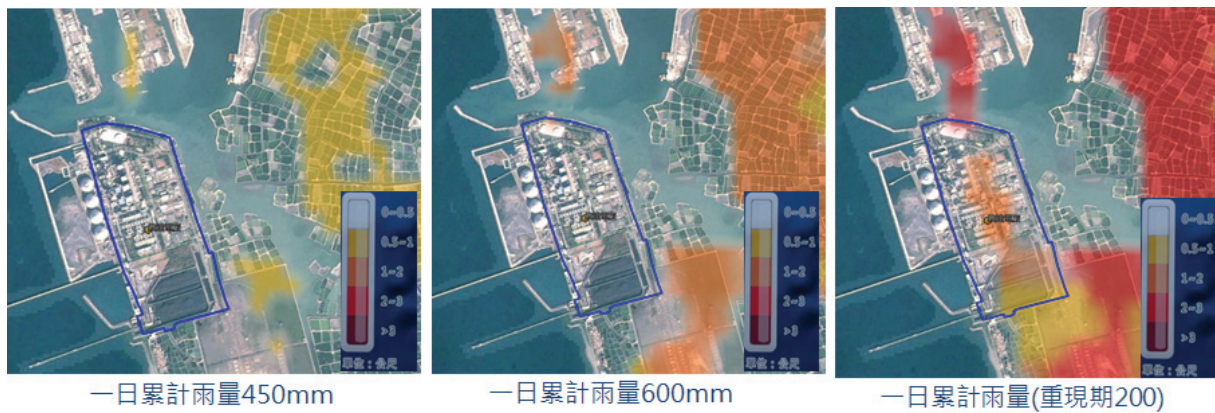


圖3 淹水潛勢雨量與重現期圖
(資料來源: Safe Taiwan安全台灣)

於國家災害防救科技中心提供的圖4可知一日累計雨量達450 mm將造成廠外淹水0.5-1米；一日累計雨量達600 mm將造成廠內淹水0-1米以及廠外淹水1-2米。

另外水利署⁶發布的高雄淹水潛勢重現期如圖5可知，於200年重現期在無防洪設施下，其該發電廠廠內風險達到3級，水深約1-2米，廠外最高風險達5級，水深大於3米以上；在有防洪設施下，其發電廠廠內風險達到2-3級，水深約0.5-2米，廠外最高風險達4級，水深約2-3米。

凡那比颱風時，附近岡山雨量站測得930 mm/日降雨量，為200年重現期，因此在氣候變

遷下，極端氣候可能造成暴雨淹水達250年重現期，本研究欲評估在此情況下調適措施的成本與效益。

4.1 假設情境

- (1) 該發電廠所在地區發生250年重現期(>960 mm/日)暴雨，廠內來不及處置(雨量超過發電廠排水設計值)造成淹水1米⁷以上，其中包含暴潮、天文潮效應以及鄰近溪流之防水閘門關閉(該發電廠內海)。
- (2) 該發電廠廠內停止供電10天，若可調度其他電廠供電，全臺無缺電的情況分為：用電尖峰與用電非尖峰時段；若無法調度其他電廠

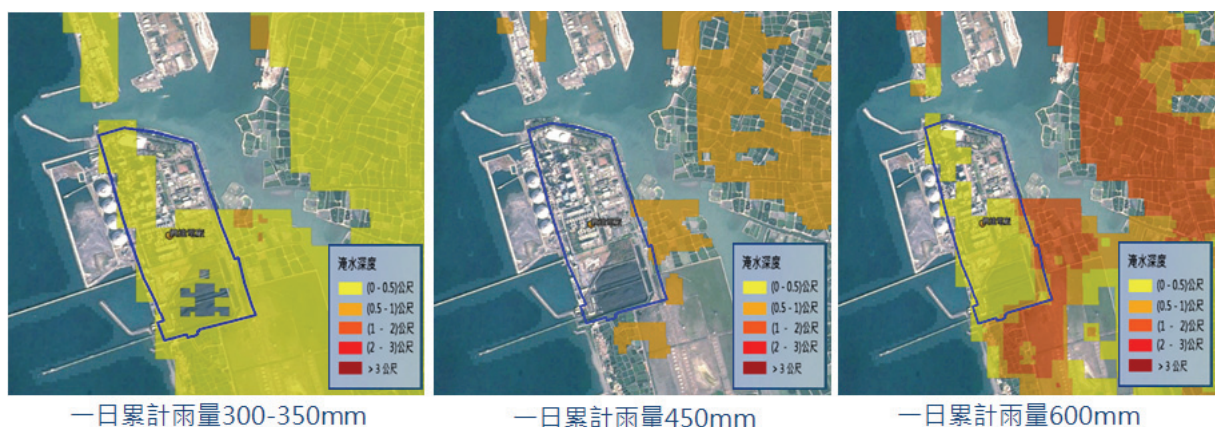


圖4 淹水潛勢雨量圖
(資料來源: Safe Taiwan安全台灣)

⁶ 水災災情蒐集服務團之水災保全計畫淹水潛勢圖，於2013年11月28日取自經濟部水利署網站，<http://www.dprc.ncku.edu.tw/download/index.html>。

⁷ 汽機與複循環GT與ST本體無淹水風險，因此該表以淹水1米之關鍵元件計算。

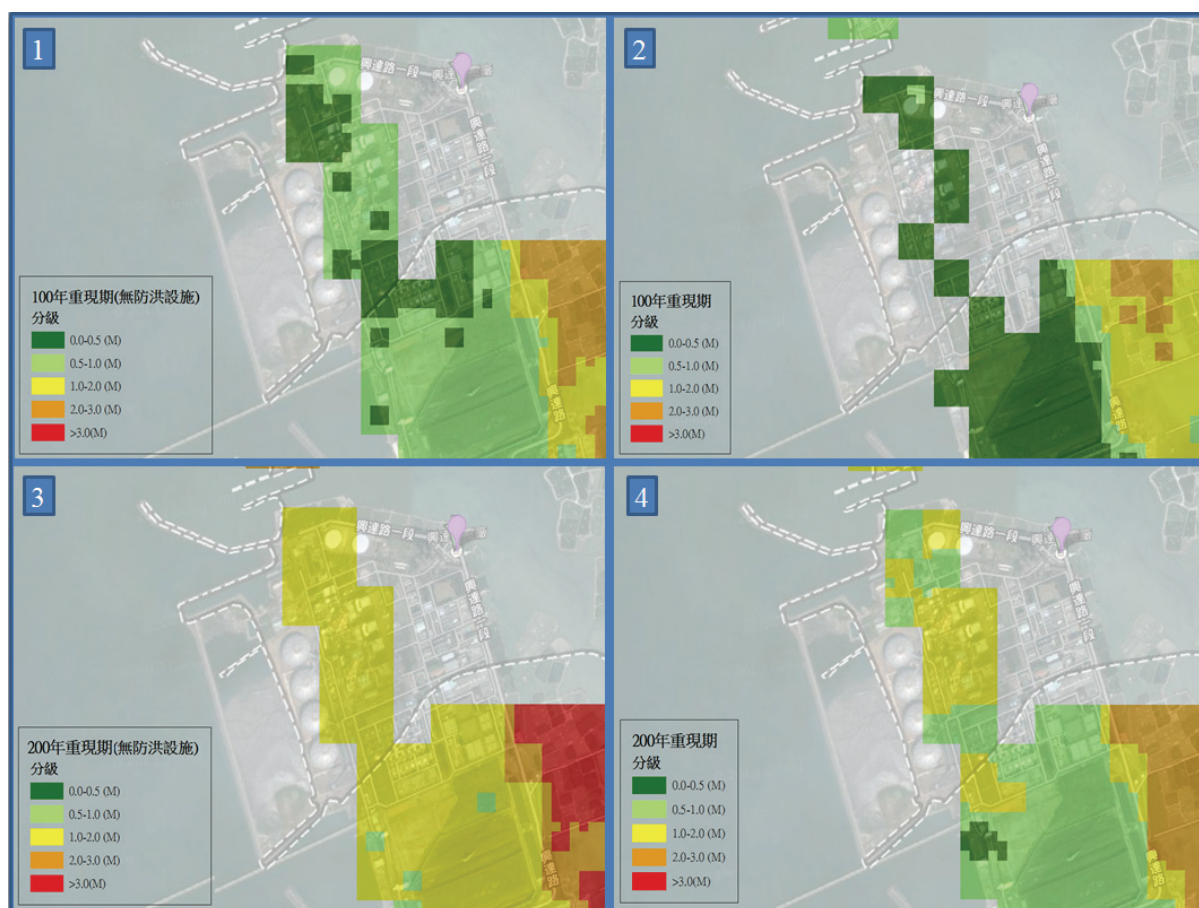


圖5 發電廠所在區域之淹水潛勢重現期
(資料來源：經濟部水利署，2007-2010)

供電，於用電尖峰時段，將造成全臺缺電比例6.6%達1.25小時等情況。

(3) 調適措施為增設防水閘門及抽水機。

4.2 假設條件

(1) 20年內至少發生一次日雨量達960 mm以上的暴雨，計算發生機率為7.7%。

(2) 調適成本之折現值是以期初(第0年)即投資興建防水閘門及抽水機計算；調適效益折現值則以期末(第20年)發生暴雨計算現值。

(3) 調適直接效益在淹水1~1.5米⁸時，以設備最長維修時間10天計算設備及發電損失。

(4) 調適效益與成本項目計算暫不考慮折舊率。

(5) 暫未考慮夏月、非夏月、尖峰、離峰之售電價格之差異。

(6) 未考慮多項設備同時損壞，修復更新時人手不足的排隊效應。

由上述氣候衝擊之淹水情境下，調適措施可避免設備損壞及發電損失為調適直接效益，其中避免設備⁹損壞之維修費用¹⁰為2,340,000元，如表1所示。

根據全臺各機組之淨尖峰供電能力(陳孟誼，2001；林家豪，2011；林家豪等，2011)考量下，以機組的淨尖峰供電能力及順序將發電損失分為發電廠、電力公司(用電的非尖峰時段)以及電力公司(用電的尖峰時段)3類，預

⁸ 若淹水1.5米以上，設備修復將須1個月。

⁹ 柴油緊急發電機為全黑啟動之機組。

¹⁰ 該發電廠員工表示設備大多只需維修不需更新即可續用，因此為避免高估減少設備損壞之金額，此以維修費用評估。

表1 避免發電廠因暴雨淹水之設備損失

氣候衝擊		暴雨淹水						
編號		設施或程序名稱	關鍵元件	暴露度	風險等級	高度	維修時間	維修費
1	燃煤	汽力機#1	冷凝水泵	500	5	離地1米	5天	80,000
2		汽力機#2	冷凝水泵	500	5	離地1米	5天	80,000
3		汽力機#3	冷凝水泵	550	5	離地1米	5天	80,000
4		汽力機#4	冷凝水泵	550	5	離地1米	5天	80,000
5		柴油緊急發電機(汽機6台)	柴油發電機	2963.5	5	地面	10天	600,000
6		空氣系統	空壓機馬達	2100	5	0.5米	5天/台	100,000
7		飼水系統	飼水泵馬達	2100	4	1米	10天	600,000
8	燃天然氣	複循環蒸汽機ST#10	冷凝水泵	172.7	5	地下室	5天	80,000
9		複循環蒸汽機ST#20	冷凝水泵	172.7	5	地下室	5天	80,000
10		複循環蒸汽機ST#30	冷凝水泵	172.7	5	地下室	5天	80,000
11		複循環蒸汽機ST#40	冷凝水泵	172.7	5	地下室	5天	80,000
12		複循環蒸汽機ST#50	冷凝水泵	172.7	5	地下室	5天	80,000
13	其他	綜合廢水場	抽水馬達(廢水傳送泵, 澄清水泵等)	-	5	室外地面	-	320,000
減少設備損壞(調適直接效益)								2,340,000

(資料來源：本研究彙整，2014)

估可避免增加缺(停)電10天之損失金額分別為8,532,000元、988,632,000元以及1,836,352,800元，如表2¹¹、表3以及表4¹²所示。

於氣候變遷之衝擊下可能會使發電量減少，將會導致缺電促使社會成本提高，其中缺電成本：特定時間內饋線轉供容量不足造成之每度缺電損失，是以「30分以上～2小時」(以75分計)(台灣電力股份有限公司，2010)。調適間接效益是以避免各產業生產停滯或電力用戶之缺電損失金額、全臺總負載量、減少發電1.25小時、全臺缺電比率，上述變數相乘而得

各產業可避免的損失金額。其中全臺缺電比率是透過電力潮流模式可知，此發電廠完全無法運作下，其全臺災前總負載為34,980 MW；災後總負載為32,671 MW，負載損失率6.6%(經濟部能源局，2013)，以此做為全臺缺電比率之預估值。

計算出表燈非營業用戶缺電6.6%之損失、科學園區缺電6.6%之損失、全臺各種用戶(含表燈及電力用戶)缺電6.6%之損失金額，分別為1,633,391,100元、1,656,477,900以及2,259,620,550元，如表5所示，以此3項以及無

¹¹ 台電表示去(101)年國內平均電價每度2.72元是根據全年總電費收入除以總售電度數得來之實際平均數字，故本文案例的售電價格以2.72 (元/度)估算，於2013年11月28日取自經濟部即時新聞網站，http://www.moea.gov.tw/Mns/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=32773

¹² 表2、表3、表4中發電成本單價(元/度) 於2013年10月24日擷取台灣電力公司全球資訊網站，民國101年各火力機組運轉重要指標，個火力機組之發電成本。參考網址：http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-b14.aspx?LinkID=6

表2 發電廠-避免增加發電損失金額

名稱	發電廠	
機組	汽力燃煤	燃氣複循環
發電量(kw/h)	1,990,000	2,135,000
總發電量(kw/h)	4,125,000	
時間(hrs)	240	240
10天發電量(度)	477,600,000	512,400,000
10天總發電量(度)	990,000,000	
發電成本單價(元/度)	1.64	3.71
發電成本(元)	2,684,268,000	
售電價格(元/度)	2.72	
售電收入(元)	2,692,800,000	
避免損失金額(元)	8,532,000	

(資料來源：台灣電力股份有限公司，2013；本研究彙整，2014)

缺電損失將會運用於後續案例中。

在調適成本的計算中，是依據淹水1米以上影響該發電廠重要設施之調適措施裡挑選出廠家認為最具防止淹水的防水閘門及抽水機之建造與營運成本¹³ (行政院經濟建設委員會，2008；臺灣自來水公司第六區管理處，2011) 作為調適成本，其金額為11,110,000元如表6所示。

最後將上述調適成本效益分析項目繪製成架構圖，調適效益的直接效益包含避免設施損失、避免發電損失。其中又將避免發電損失分為發電廠、電力公司於非用電尖峰以及電力公司於用電尖峰；間接效益中將避免缺電損失分成無缺電、表燈非營業、科學園區、全臺各種電力用戶；調適成本的直接成本包含額外增加的建造成本以及營運成本，如圖6所示。蒐集完上述資料後，將假設情境與條件納入計算，即可算出以發電廠、電力公司以及電力公司納入各電力用戶之不同角度的調適成本效益。

4.3 案例計算

在下述案例中，將依據該發電廠、電力公司以及各產業、全臺用戶之不同條件下，以防水閘門及抽水機作為調適措施，計算出各式的調適成本效益。假設該發電廠所在地區發生250年重現期(>950 mm/日，排水系統設計值)暴雨，廠內來不及處置造成淹水大於1米，造成該發電廠不能發電，導致無法供電(缺電)10天，其產生的損失金額。為避免上述損失可增設防水閘門及抽水機，其為調適的成本，而避免發生的損失金額為調適的效益。其中營運年

表3 電力公司非尖峰-避免增加發電損失金額

名稱	電力公司		
用電非尖峰時段	發電廠供電		改其他電廠供電
機組	汽力燃煤	燃氣複循環	燃氣複循環
發電量(kw/h)	1,990,000	2,135,000	4,125,000
總發電量(kw/h)	4,125,000		4,125,000
時間(hrs)	240	240	240
10天發電量(度)	477,600,000	512,400,000	990,000,000
10天總發電量(度)	990,000,000		990,000,000
發電成本單價(元/度)	1.64	3.71	3.71
發電成本(元)	2,684,268,000		3,672,900,000
避免損失金額(元)	988,632,000		

(資料來源：台灣電力股份有限公司，2013；本研究彙整，2014)

¹³ 「南化水庫防洪防淤工程可行性調查規劃設計總報告」中表示，年營運維護成本一般以佔各項結構建造費(完工總成本)之百分率計算，本計畫年營運維護成本，則以總工程建造費之1%估計。

表4 電力公司尖峰-避免增加發電損失金額

名稱	電力公司			
用電非尖峰時段	發電廠供電		改其他電廠供電	
機組	汽力燃煤	燃氣複循環	汽力燃煤	燃氣複循環
發電量(kw/h)	1,990,000	2,135,000	2,868,000	1,257,000
總發電量(kw/h)	4,125,000		4,125,000	
時間(hrs)	240	240	240	240
10天發電量(度)	477,600,000	512,400,000	688,320,000	301,680,000
10天總發電量(度)	990,000,000		990,000,000	
發電成本單價(元/度)	1.64	3.71	3.71	6.52
發電成本(元)	2,684,268,000		4,520,620,800	
避免損失金額(元)	1,836,352,800			

(資料來源：台灣電力股份有限公司，2013；本研究彙整，2014)

表5 各電力用戶缺電6.6%之損失金額

全台各類別缺(停)電損失					
類別	用戶損失金額 (元/度)	總負載量 (KW)	減少發電 (小時)	負載損失率 (%)	用戶缺(停)電 損失金額(元)
表燈非營業	566	34,980,000	1.25	6.60	1,633,391,100
科學園區	574	34,980,000	1.25	6.60	1,656,477,900
全台各種用戶	783	34,980,000	1.25	6.60	2,259,620,550

(資料來源：台灣電力股份有限公司，2010；經濟部能源局，2013；本研究彙整，2014)

表6 發電廠的調適成本

氣候 衝擊	暴雨淹水				
編號	重要設施	調適措施	運用設施	建造成本	營運成本
1	汽力機組1~4號	• 廠內淹水：保持泵區排水溝暢通	排水管溝	-	-
	關鍵元件冷凝水循環泵	• 發電廠周邊淹水：保持泵區排水溝暢通	排水管溝	-	-
	(皆位於地面，一旦排水系統失效，將同時淹水)	• 2道防水閘門搭配4台抽水機	防水閘門	8,000,000	80,000
			抽水機	3,000,000	30,000
2	複循環機組1~5號ST	• 滯洪池(雨水回收池)-無重力排水	滯洪池與抽水泵	-	-
	關鍵元件冷凝水循環泵 (皆位於地面，一旦排水系統失效，將同時淹水)	• 滯洪池(雨水回收池)-有重力排水	滯洪池與排水泵	-	-
小計				11,000,000	110,000
總計				11,110,000	

(資料來源：本研究彙整，2014)

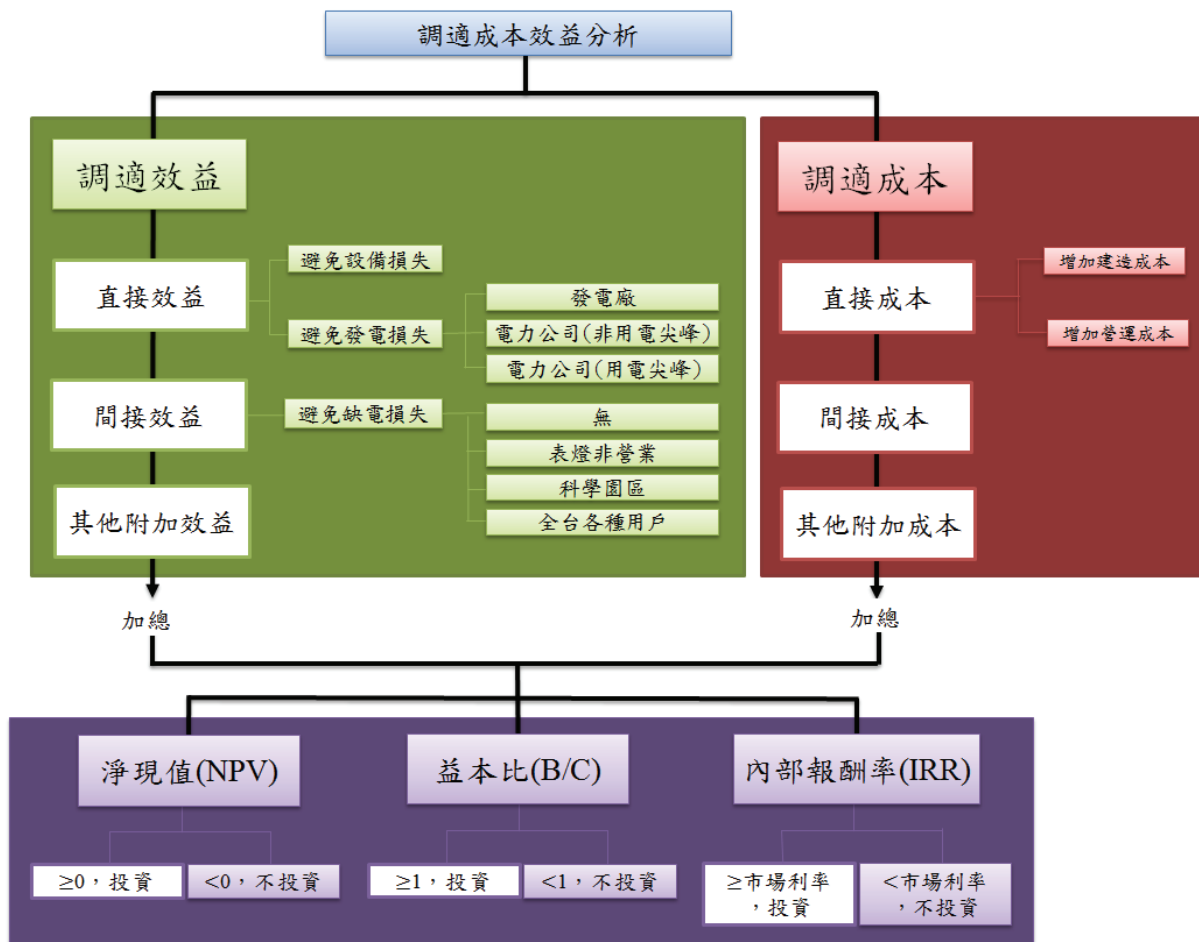


圖6 調適成本效益分析流程圖
(資料來源：本研究繪製，2014)

期是以20年計(台灣電力公司，2004)，折現率是以再生能源電能躉購費率中平均資金成本率(WACC) 5.25%計算(經濟部，2013)，折現值是以期初(第0年)即投資興建防水閘門及抽水機計算調適成本以及期末(第20年¹⁴)發生暴雨計算調適效益之現值。

(1) 發電廠

由表7該發電廠的成本效益可知，在考量無間接效益下，調適效益合計金額為837,489元，調適成本為11,110,000元，其淨現值-10,809,020元，益本比為0.03。

(2) 電力公司

在表8電力公司的成本效益中，在非用電的尖峰時段可減少發電的損失下，調適效益合

計金額為76,336,293元，調適成本為11,110,000元，其淨現值16,323,990元，益本比為2.47。

由表9電力公司的成本效益可知，在用電的尖峰時段可減少發電的損失下，調適效益合計金額為141,637,697元，調適成本為11,110,000元，其淨現值39,792,225元，益本比為4.58。

(3) 納入各產業或全臺電力用戶

由表10電力公司的成本效益可知，在用電的尖峰時段可減少發電的損失以及避免表燈非營業用戶缺電6.6%之損失下，調適效益合計金額為267,460,648元，調適成本為11,110,000元，其淨現值85,010,894元，益本比為8.65。

由表11電力公司的成本效益可知，在用電的尖峰時段可減少發電的損失以及避免科學園

¹⁴ 本研究旨於計算調適措施的成本效益，因此所有調適效益項目之金額，皆以發生災害時計算。

表7 發電廠的調適成本效益

調適成本				調適效益				
項目			金額(元)	項目		金額(元)	淹水機率	期望值(元)
直接成本	建造成本	防水閘門、抽水機	11,000,000	直接效益	設備損壞	2,340,000	7.7%	180,254
	營運成本	建造費用之1%估算	110,000		發電損失	8,532,000	7.7%	657,235
間接成本	-	-	-	間接效益	-	-	-	-
其他附加成本	-	-	-	其他附加效益	-	-	-	-
合計			11,110,000	合計				837,489
淨現值								-10,809,020
益本比								0.03

(資料來源：本研究計算，2014)

表8 電力公司(非用電尖峰)的調適成本效益

調適成本				調適效益				
項目			金額(元)	項目		金額(元)	淹水機率	期望值(元)
直接成本	建造成本	防水閘門、抽水機	11,000,000	直接效益	設備損壞	2,340,000	7.7%	180,254
	營運成本	建造費用之1%估算	110,000		非尖峰時段發電損失	988,632,000	7.7%	76,156,039
間接成本	-	-	-	間接效益	-	-	-	-
其他附加成本	-	-	-	其他附加效益	-	-	-	-
合計			11,110,000	合計				76,336,293
淨現值								16,323,990
益本比								2.47

(資料來源：本研究計算，2014)

表9 電力公司(用電尖峰)的調適成本效益

調適成本				調適效益				
項目			金額(元)	項目		金額(元)	淹水機率	期望值(元)
直接成本	建造成本	防水閘門、抽水機	11,000,000	直接效益	設備損壞	2,340,000	7.7%	180,254
	營運成本	建造費用之1%估算	110,000		尖峰時段發電損失	1,836,352,800	7.7%	141,457,443
間接成本	-	-	-	間接效益	-	-	-	-
其他附加成本	-	-	-	其他附加效益	-	-	-	-
合計			11,110,000	合計				141,637,697
淨現值								39,792,225
益本比								4.58

(資料來源：本研究計算，2014)

表10 電力公司(用電尖峰)的調適成本效益(含表燈非營業缺電)

調適成本				調適效益				
項目			金額(元)	項目		金額(元)	淹水機率	期望值(元)
直接成本	建造成本	防水閘門、抽水機	11,000,000	直接效益	設備損壞	2,340,000	7.7%	180,254
	營運成本	建造費用之1%估算	110,000		尖峰時段發電損失	1,836,352,800	7.7%	141,457,443
間接成本	-	-	-	間接效益	表燈非營業缺電6.6%之損失	1,633,391,100	7.7%	125,822,951
其他附加成本	-	-	-	其他附加效益	-	-	-	-
合計			11,110,000	合計				267,460,648
淨現值								85,010,894
益本比								8.65

(資料來源：本研究計算，2014)

表11 電力公司(用電尖峰)的調適成本效益(含科學園區缺電)

調適成本				調適效益				
項目			金額(元)	項目		金額(元)	淹水機率	期望值(元)
直接成本	建造成本	防水閘門、抽水機	11,000,000	直接效益	設備損壞	2,340,000	7.7%	180,254
	營運成本	建造費用之1%估算	110,000		尖峰時段發電損失	1,836,352,800	7.7%	141,457,443
間接成本	-	-	-	間接效益	科學園區缺電6.6%之損失	1,656,477,900	7.7%	127,601,367
其他附加成本	-	-	-	其他附加效益	-	-	-	-
合計			11,110,000	合計				269,239,065
淨現值								85,650,027
益本比								8.71

(資料來源：本研究計算，2014)

區缺電6.6%之損失下，調適效益合計金額為269,239,065元，調適成本為11,110,000元，其淨現值85,650,027元，益本比為8.71。

由表12電力公司的成本效益可知，在用電的尖峰時段可減少發電的損失以及避免全臺各種用戶缺電6.6%之損失下，調適效益合計金額為315,700,190元，調適成本為11,110,000元，其淨現值102,347,381元，益本比為10.21。

5. 結果與討論

5.1 結論

案例中假設暴雨淹水達1米以上，若以增設防水閘門及抽水機為調適措施，其調適成本效益之評估結果分為，以發電廠本身考量，其成本高於效益；但若以電力公司以及電力公司納入全臺電力用戶角度來看，則效益會遠高於成本，亦即防水閘門及抽水機是可投資興建，且以此作為調適措施是具有效益的。此外，案例分析中，以岡山雨量站於凡那比颱風時之日降雨量重現期為發電廠發生暴雨淹水機率的參考依據，但該雨量站與該發電廠有一段距離(約11公里)，且其地形條件並不相似，故兩地降雨重現期條件並不一致，須謹慎了解評估結果之

表12 電力公司(用電尖峰)的調適成本效益(含全臺各用戶缺電)

調適成本				調適效益				
項目			金額(元)	項目		金額(元)	淹水機率	期望值(元)
直接成本	建造成本	防水閘門、抽水機	11,000,000	直接效益	設備損壞	2,340,000	7.7%	180,254
	營運成本	建造費用之1%估算	110,000		尖峰時段發電損失	1,836,352,800	7.7%	141,457,443
間接成本	-	-	-	間接效益	全台用戶缺電6.6%之損失	2,259,620,550	7.7%	174,062,492
其他附加成本	-	-	-	其他附加效益	-	-	-	-
合計			11,110,000	合計				315,700,190
淨現值								102,347,381
益本比								10.21

(資料來源：本研究計算，2014)

侷限性。初步進行不確定性分析顯示(請參考附件1)其變異量相當高，而其主要因素為選擇鄰近雨量站是否具有足夠之代表性。

5.2 建議

- (1) 可於每一電廠增設雨量站，以使評估結果更準確。
- (2) 本次評估是以鄰近溪流的防水閘門關閉之情況計算，後續可用啟動防水閘門之情形計算調適成本效益。
- (3) 該案例為假設防水閘門及抽水機，可完全防止淹水，後續必須考慮保養、維護與使用情況，以確保暴雨時設備運轉正常。
- (4) 若發電廠考慮增建其它調適設施(如滯洪池)該設施地點，可考慮建置在該發電廠廠內或是在廠區周圍。若此調適設施(如滯洪池)亦為附近居民所需，此時費用即可轉嫁至地方政府。此時，會產生社會成本與效益，因此於計算調適成本效益時應分為：只計算能源的成本效益以及計算能源與社會成本效益。更可進一步比較增建此調適設施(如滯洪池)與防水閘門的可行性評估。
- (5) 後續可延伸不同氣候因子下的災害情境對調適成本效益評估的影響。以及可從政策面的角度(Top-down)界定評估範圍、限制條件以

及其他影響範圍、衝擊、可投資的項目等。

6. 誌 謝

本研究承蒙經濟部能源局之經費補助(計畫編號：102-A0205)，謹致謝忱，並感謝台電總公司的環保處及綜研所電經室等單位之協助。

參考文獻

- 經濟部能源局，2012，能源產業氣候變遷調適行動輔導計畫期末報告，工業技術研究院執行經濟部能源局計畫，計畫編號：101-A0110，頁118-129。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2006，河川治理及環境營造規劃參考手冊，頁97-101。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所，2006，區域排水整治及環境營造規劃參考手冊，頁71-80。
- 行政院經濟建設委員會，2008，公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊：上冊，頁II-1-3- II-1-7。
- 台灣電力股份有限公司，2010，缺電成本之調查研究完成報告，頁194-221。
- 楊豐碩、陳士麟、許志義、林師模、陳詩豪、

- 歐陽利姝、盧豐彰、何玉麗、林章平、許世哲、施雅慧、林啟明、洪育民、陳隆武，2011，缺電成本之調查研究，台電工程月刊，第754期，頁55-74。
- 歐陽利姝，2010，缺電成本、願付金額與願受補償影響因子，臺灣經濟學會2010年年會，頁1-8。
- 賴俊穎，2011，台灣電力用戶缺電成本與WTA/WTP差異之研究，中國文化大學社會科學院經濟研究所，碩士論文，頁38-47。
- 陳望曾，2005，臺灣民營電廠(IPP)營運績效之研究—資料包絡分析法的應用，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所，碩士論文，60-67頁。
- 行政院環境保護署，2012，環境政策與開發計畫成本效益分析作業參考手冊，行政院環境保護署綜合計畫處委託中華經濟研究院執行，頁4-2-4-108。
- 蕭代基，2012，氣候變遷政策成本效益分析與整合性評估模型，氣候變遷政策成本效益分析與整合性評估模型之教育訓練，中央研究院經濟研究所，頁26-41。
- 施友元，2010，國際氣候變遷調適策略經濟評估方法之趨勢與啟示，經濟研究，第11期，頁291-300。
- 陳孟誼，2001，臺灣發電系統整體資源規劃，中原大學電機工程學系，碩士論文，頁2-18-2-34。
- 林家豪，2011，臺灣發電系統可靠度之建模與評估，中原大學電機工程學系，碩士論文，頁21-55。
- 林家豪、許世哲、陳士麟、呂嘉容、盧豐彰、楊豐碩、林章平、陳隆武、孫建平、周錦雲，2011，台電系統規模之合理備用容量率，台電工程月刊，第754期，頁76-87。
- 經濟部能源局，2013，能源部門因應氣候變遷調適策略期末報告，臺灣綜合研究院執行經濟部能源局計畫，計畫編號：102-A0204，頁44。
- 行政院經濟建設委員會，2008，公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作業手冊：下冊，頁III-2-139- III-2-145。
- 臺灣自來水公司第六區管理處，2011，南化水庫防洪防淤工程可行性調查規劃設計總報告，頁8-17。
- 台灣電力公司，2004，澎湖湖西風力發電計畫-可行性研究報告，頁8-1-8-18。
- 經濟部，2013，再生能源電能躉購費率計算公式及使用參數說明，103年度經濟部「再生能源電能躉購費率及其計算公式」聽證會，40-56頁。
- Carter, T.R., and K. Mäkinen, 2011, Approaches to climate change impact, adaptation and vulnerability assessment: towards a classification framework to serve decision-making, MEDIATION Technical Report No. 2.1, Finnish Environment Institute (SYKE), Helsinki, Finland, 70 pp.36-42.
- Defra, 2013, The National Adaptation Programme: Making the country resilient to a changing climate, Department for Environment, Food & Rural Affairs- GOV.UK.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp 104.
- Metroeconomica, 2004a, Costing the impacts of climate change in the UK: Implementation report, UKCIP Final Report. UKCIP, Oxford, pp. 3-16-4-36.
- Metroeconomica, 2004b, Costing the impacts of climate change in the UK: overview of guidelines, UKCIP Technical Report. UKCIP, Oxford, pp. 8-46.
- Moss, R.H., J.A. Edmonds, K.A. Hibbard, M.R.

Manning, S.K. Rose, D.P. van Vuuren, T.R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G.A. Meehl, J.F.B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S.J. Smith, R.J. Stouffer, A.M. Thomson, J.P. Weyant, and T.J. Wilbanks, 2010, The next generation of scenarios for

climate change research and assessment, *Nature*, Vol 463, pp.747-754.

UNFCCC, 2002, Annotated guidelines for the preparation of national adaptation programmes of action, Least Developed Countries Expert Group, pp.33-40.

附件1、不確定性分析

以電力公司考量，假設該發電廠所在地區發生不同重現期之暴雨，發電廠廠內來不及處置造成淹水10天，其調適措施以防水閘門及抽水機為例，於非用電尖峰時段且不考慮缺電成本下的淨現值。

營運期間(年)	重現期(年)	發生機率	至少發生一次的機率	淨現值	益本比
20	100	1.00%	18.2%	53,740,405	5.84
20	250	0.40%	7.7%	16,323,990	2.47
20	500	0.20%	3.9%	2,868,107	1.26
10	100	1.00%	9.6%	22,943,253	3.07
10	250	0.40%	3.9%	2,881,848	1.26
10	500	0.20%	2.0%	4,050,988	0.64

(資料來源：本研究計算，2014)

Cost- Benefit Analysis of Climate Change Adaptation— A Case Study on Power Plant

Yen-Ling Su^{1*} Yu-Du Hsu²

ABSTRACT

This study establishes a cost-benefit analysis method of climate change adaptation for a thermal power plant. In this case, we assumed a 1m-flooding happened in the region of the power plant which is due to a rainstorm of 960 mm/day, a 250-year-return-period, was occurred nearby. Then the power plant stopped the supply of electricity for 10 days. A copy adaptation measure was to building additional waterproofing gates or pumps. The case showed the minimum net present value is -10,809,020 NT\$ and benefit-cost ratio of 0.03 for the power plant. However, the maximum net present value was 102,347,381 NT\$ and benefit-cost ratio of 10.21 for the power company. The results showed that the cost was higher than the benefits from power plant view-point. However, for the power company, the benefits was higher than the cost. The reason was that the power company need to start higher cost generators. In additional, avoidance of customers' losses also increased the benefits. The uncertainty analysis showed the variance was probably high which depended on the selection of a representative rainfall station is adequate or not.

Keywords: climate change, power plant, adaptation measures, cost-benefit

¹ Associate Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories,
Industrial Technology Research Institute

² Senior Researcher, GEL/ITRI

* Corresponding Author, Phone: 886-3-5912325, E-mail: yenlingsu@itri.org.tw

Received Date: July 22, 2014

Revised Date: September 4, 2014

Accepted Date: September 23, 2014