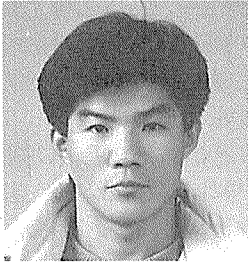


논단 II

燃料電池의 電力系統 連系技術 確立



한국전기연구소
KODAS 사업팀
선임연구원 김응상

1. 서론

最近 溫室效果나 산성비등 지구온난화 현상의 對策의 一環으로 溫室가스 배출을 規制하는 氣候變化 協約이 발효(1994.3.21)되었으며, 특히 先進國들로 구성된 經濟協力開發기구(OECD)회원국은 溫室가스를 2000년까지 1990년 수준으로 동결토록 되어있어 1996年 OECD가입을 앞두고 있는 우리나라도 대책 마련을 하고자 몇년전부터 대체에너지 개발에 범국가적으로 박차를 가하고 있는 실정이다. 이러한 대체에너지 전원으로서는 일본, 미국을 비롯한 선진국에서 이미 實用化단계에 와있는 燃料電池를 비롯하여 太陽光發電, 風力發電, 소수력, 電力貯藏시스템 등이 있으며, 이들 시스템은 기존의 火力 및 原子力에 비해 環境性 및 立地性 등이 뛰어나기 때문에 商業化에 成功할 경우 도심지 등의 負荷密集地域에 電力會社나 일반 투자가 등에 의해서 導入, 運用될 가능성이 높다. 또한 이 시스템들은 에너지전원이 電力系統에 불특정하게 다수 도입될 경우 既存의 단방향 潮流로 運用되고 있는 系統(특히 配電系統)에 여러 가지 影響들 즉, 電力會社의 입장에서 당장 관심사가 되는 電力品質(電壓/周波數變動, 高調波, 力率),

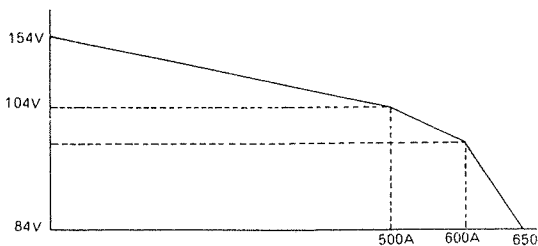
安全 및 保安(公衆 및 作業者), 保護協調(設備保全), 連系系統 構成 및 運用(供給 신뢰도, 安定性) 상의 問題點들이 야기될 수 있다.

본고에서는 燃料電池의 系統連系 시뮬레이션 해석 및 燃料電池의 시뮬레이터 構成을 토대로 실시한 系統連系試驗結果를 檢討·分析하여 燃料電池의 系統連系 技術要件 가이드라인을 제시하였으며, 이를 이용하여 燃料電池發電이 電力系統에 圓滑하게 導入되고, 實用化되는 데에 도움을 주고자 하였다.

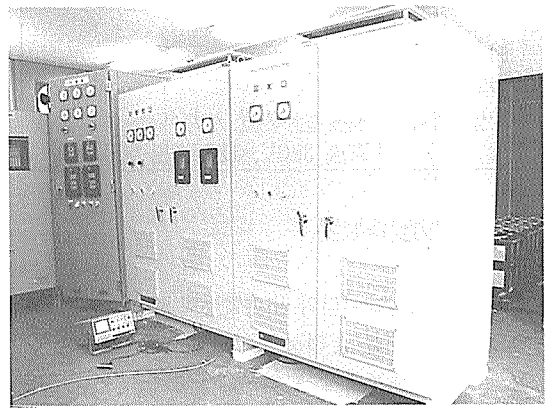
2. 燃料電池 시뮬레이터 設計 및 製作

燃料電池를 비롯한 小規模 分散型 發電이 配電系統에 導入되어 運轉될 경우 그 連系運轉에 대한 運轉실적이 아직까지는 없어서 電力의 品質(高調波, 電壓變動), 시스템의 安定性(保護協調), 시스템의 安全性(逆流電), 그리고 電磁波障害 등에 대한 技術的인 問題點들이 사전에 檢討되어야 하며, 실제운전시 에 일어날 수 있는 問題點를 調査, 解決하기 위한 實證試驗裝置의 構成은 模擬電源裝置, 電力變換裝置 및 제한현상을 규명하기 위한 測定設備 등으로 이루어졌다.

현재 國內에서 45KVA의 燃料電池를 구할 수 없으므로 여기서는 日本 후지(주)에서 제작한 50KVA의 燃料電池와 같은 出力特性(그림-1 참조)을 갖는 45KVA의 燃料電池 시뮬레이터를 模擬電源裝置와 電力變換裝置로 나누어 製作하였다(그림-2 참조).



〈그림-1〉 燃料電池의 出力 特性 曲線



〈그림-2〉 模擬電源裝置와 電力變換裝置의 外形圖

가. 模擬電源裝置

模擬電源裝置는 交流 380V를 入力로 받아 直流로 變換하여 실제 燃料電池의 特性과 같은 出力이 나오도록 제작하였다. 出力電壓이 直流 0~154V까지 광범위하게 변하므로 후단에 系統連系用 인버터의 적정 入力인 直流 300V로 조정하기 위해서 부스트 콘버터를 사용하였다. 그 製作規格은 〈표-1〉과 같다.

〈표-1〉 模擬電源裝置 構成

항 목	규 격
1. 模擬電源裝置	
形 式	燃料電池 특성용 整流裝置
正格 容量	45kVA
入力 범위	AC 3상 380V 45kVA (변동범위: ±10%)
出力 범위	DC 102V, 450A 45kVA(正格) 85V-154V(변동범위) 0-600A(변동범위)
과부하내량	단시간 120%
運轉모드	正格出力의 100-25% 연속가변
應答속도	1 msec
短絡 電流	直流 500A
개방 전압	直流 154V

항 목	규 격
2. 부스트콘버터 形式 正格 容量 入出力범위	DC 초퍼 45kVA 模擬電源裝置 入力 直流 360V, 125A(出力 正格)

나. 電力變換裝置

燃料電池 시뮬레이터의 出力電壓이 直流이므로 系統連系用 인버터를 통해서 電力系統의 電壓과 동상으로 出力을 내보내게 되며, 계통연계용 인버터의 製作規格은 <표-2>와 같다.

<표-2> 電力變換裝置 構成

항 목	규 격
1. 電力變換裝置 形式 構成 正格 용량 入力 범위 交流 電壓 변동범위 과부하내량 周波數 변 동범위 응답시간 系統同期 時間 負荷應答 時間 波型 왜율 정격 부하 역율 제어방식 效率	電壓형 자여식 인버터 12상 펄스폭제어(다중인버터방식) 3Ø3W, 380V, 45kVA 100% 연속 模擬電源裝置 출력범위 380V(±10%) 단시간 120%(30분), 150%(90초) 60±1Hz 1 sec 1 sec 3% 이하(正格出力時 系統連系점기준) 1.0 정전력제어방식(유효/무효전력) 90%(정격출력시)
2. 기능 설명	본 구성기기는 燃料電池 시뮬레이터로 模擬電源裝置에 의하여 45kVA의 交流電力을 直流로 變換시키고, 이것을 부스터에 의하여 直流電壓을 높여서 電力變換裝置의 入力단에 넣도록 하며, 電力變換裝置는 事故試驗을 위하여 200kVA의 正格容量으로 평상시에는 45kVA의 부스터 入力을 받아 45kVA 交流出力을 내도록 運轉하며, 事故試驗시에 200kVA를 견디도록 設計한다.

3. 系統連系 試驗裝置 設計 및 製作

系統連系試驗을 수행하고자 저압 模擬配電線路의 構成은 380V 3상 4선을 기준으로 해서 현재 사용되고 있는 鏡銅線 22mm²를 적용하였으며, 실제의 경간은 통상 20m~50m로 構成되어 있으나 燃料電池 특성상 負荷密集地域이 많으므로 여기서는 30m를 적용하였다. 試驗系統 回路圖는 <그림-3>과 같이 構成하였다. 회로도에서 RI-R6은 鏡銅線 22mm²의 임피던스 값들이며 連系點을 이동하여 시험할 수 있도록 경간마다 단자를 구성하였다.

(380V, 3φ 4W식 기준, 鏡銅線 22mm² 기준, 표준 6 경간)

1경간: 30m(총 180m)

22mm²: 0.818+j0.461(Ω/km)

R: 0.818×(180m)×10⁻³=0.147(Ω)

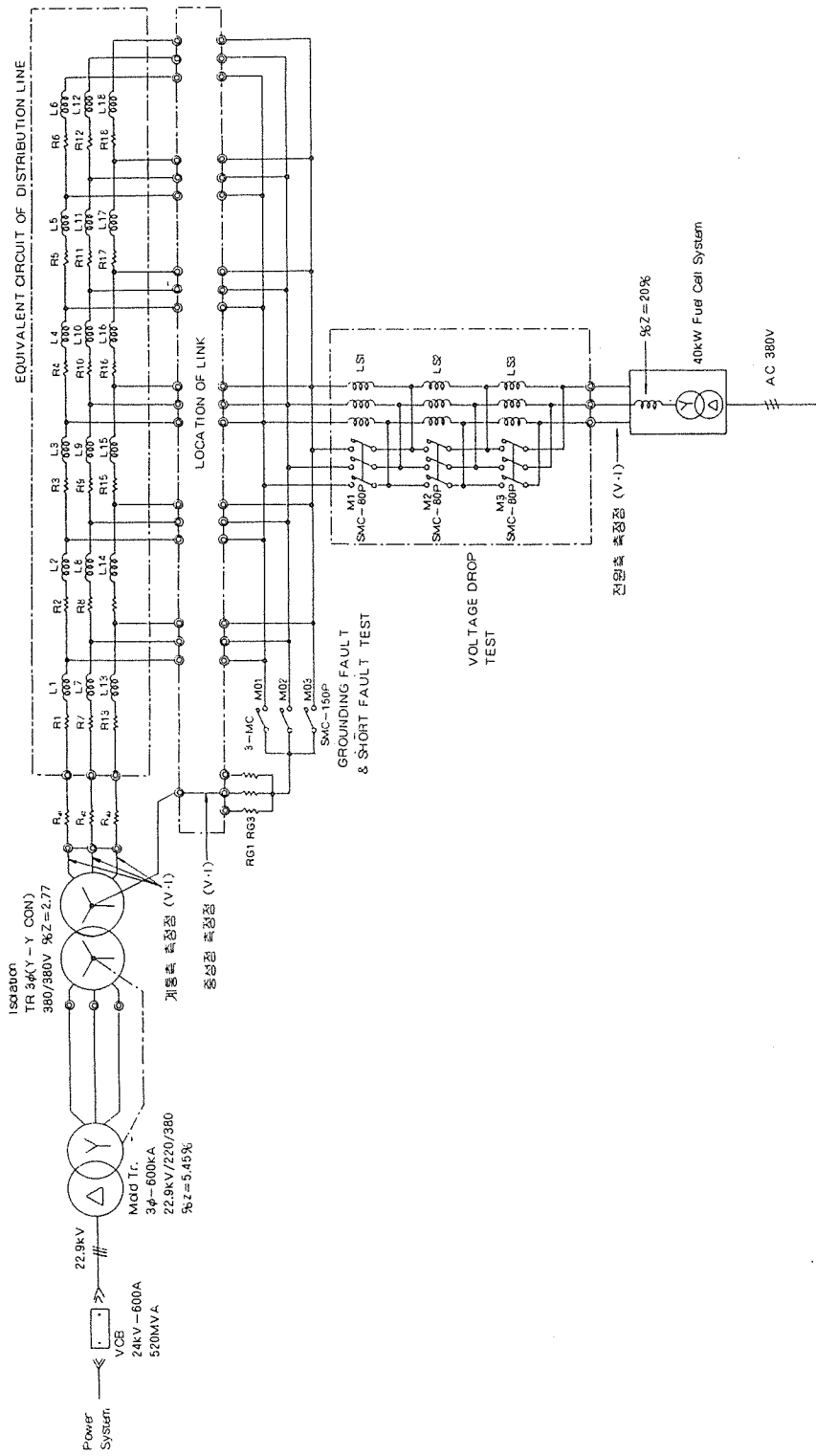
X: 0.455×(180m)×10⁻³=0.082(Ω)

4. 系統連系試驗 結果 및 分析

燃料電池를 電力系統에 연결하여 운전하기 이전에 실제 운전시에 일어날 수 있는 電力의 品質(高調波, 電壓變動), 시스템의 安定性(保護協調), 시스템의 安全性(逆充電), 그리고 電波障害 등에 대한 제반 문제점들을 규명하고자 燃料電池 시뮬레이터(模擬電源裝置+電力變換裝置)와 系統連系試驗裝置(模擬配電線路+각종 事故試驗裝置)를 이용하여 각종 地絡試驗, 短絡試驗 및 瞬間電壓 降下試驗을 실시하였으며, 그중 短絡試驗에 대한 결과를 <그림-4, 6>에 나타내었다.

가. 短絡試驗

燃料電池를 電力系統에 連系하여 운전하면 試驗結果에서와 같이 기존의 電力系統의 短絡容量을 증가시킬 수가 있는데, 이 용량이 기존의 電力會社의 각종 遮斷器 또는 需用家 遮斷器의 차단용량을 상회하는 경우 電力系統에서의 각종 事故나 수용가 구내 사고시에 차단 불능이 될 우려가 있다. 만약, 이러한



〈그림-3〉 系統連系 試驗裝置의 回路圖

논단 II

경우가 발생되면 계통운영에 막대한 영향을 미치게 되므로 事故를 미연에 방지하기 위해서는 燃料電池가 電力系統에 連系되기전에 短絡容量을 計算하여 電力系統측의 각종 遮斷器의 차단용량을 증가시켜 주는 방법과 燃料電池가 도입되는 수용가를 중심으로 한류리액터를 설치하는 방법이 있다.

나. 地絡試驗

地絡繼電器가 부착되어 운전되고 있는 기존의 電力系統에 燃料電池가 導入되어 系統連系運轉되어도 기존의 系統運營에 아무런 변화를 주지말아야 하기 때문에, 본 시험의 목적은 燃料電池가 電力系統에 系統連系 운전될시에 地絡電流의 변화현상을 확인하여 繼電器 設定치를 고려하고자 하는데 있다.

다. 瞬間電壓 降下試驗

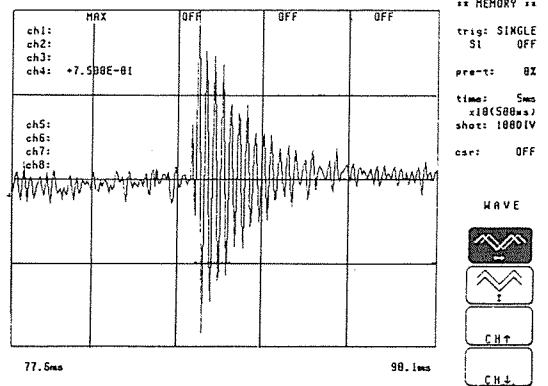
전기사업법에 의하면 전력을 공급하는 電力會社는 需用家에 일정기준치 이내의 電壓을 유지해야 한다고 규정되어 있다(표-3참조). 특히 수용가에 가장 가까운 配電系統의 電壓이 設定치를 벗어날 경우 전력기기의 정지나 오동작 및 수명저하를 가져올 우려가 있기 때문에 그 대책을 강구하지 않으면 안된다.

(표-3) 配電系統의 標準電壓 範圍

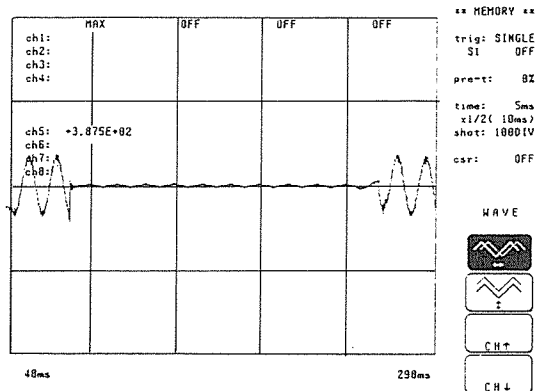
표 준 전 압	전 압 변동 범위
110 V	104~116 V
220 V	207~233 V
200 V	188~212 V
380 V	342~418 V

燃料電池가 電力系統에 導入되어 運轉되는 경우 중부하시나 피크부하시 등에 燃料電池가 系統分離 등에 의해서 系統電壓이 변경되어 設定치를 벗어날 수 있는 경우가 있으며, 이는 각종 전력기기의 정지, 오동작 및 수명저하를 초래할 수 있다. 이러한 電壓變動의 정도는 負荷의 상황, 系統의 구성상태, 燃料電池의 출력 등에 따라 다르기 때문에 개별적인 검토를 수행하든가, 아니면 設定치를 벗어날 염려가 있으면 自動負荷 遮斷裝置를 수용가에 설치하도록

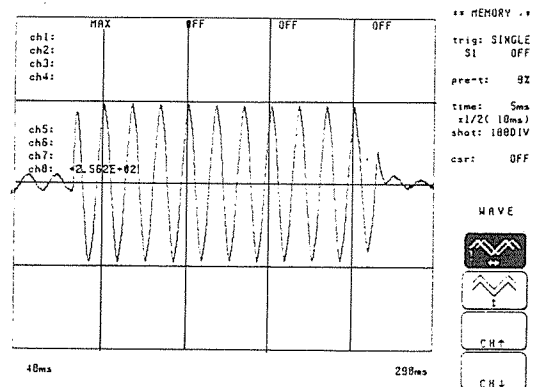
해야한다. 이렇게 하여도 대책이 충분하지 않을 경우에는 配電線의 신설이나 증강공사를 고려해야 하며 심지어는 전용선 등에 연계도 검토해야 한다.



(그림-4) 3상 短絡時 系統측 B상 電流波型



(그림-5) 3상 短絡時 電力變換裝置측 A상 電壓波型



(그림-6) 3상 短絡時 電力變換裝置측 A상 電流波型

5. 결 론

燃料電池를 電力系統에 連繫하는 경우, 電壓變動과 高調波問題와 같은 電力品質에 관계되는 사항과 系統이나 燃料電池電源 內部の 事故에 기인하는 系統 保護協調과 逆充電현상 등의 安全性에 관한 사

항, 또한 系統의 기동시나 운영시에 일어나는 정상상태시의 系統의 安定性에 관한 사항 등 크게 3 가지로 나눌 수 있다. 여기서는 이들 문제점을 사전에 분석하고 그 대책을 강구하고자 가장 중요한 요소인 電壓管理問題, 高調波問題, 短絡容量問題, 保護協調問題, 逆充電問題들을 檢討·分析한 資料를 토대로 系統連系試驗을 실시하여 系統連系 가이드라인을 제시하였다(표-4) 참조.

〈표-4〉 연료전지의 계통연계 가이드라인

檢 討 項 目	技術的 要件	설 비 대 책	
		一般 高壓配電線	低壓 配電線
1. 設備容量	<ul style="list-style-type: none"> 分散型電源의 系統連系로 인하여 기존의 系統設備에 影響을 주지 않을 것 	<ul style="list-style-type: none"> 원칙적으로 2,000KW 미만으로 할 것(高壓配電線 容量의 약 20% 정도임) 	<ul style="list-style-type: none"> 원칙적으로 200KW 미만으로 할 것
2. 電壓變動	<ul style="list-style-type: none"> 系統電壓을 적정치 이내로 유지할 것(低壓需用家の 電壓치가 104~116V 207~233V 188~212V 342~418V 이내일 것) 系統連系 運轉시 瞬間電壓 變動을 규정치 이내로 유지할 것 	<ul style="list-style-type: none"> 自動負荷遮斷裝置를 設置할 것(이것이 불가능할 경우 配電線의 증강이나 負荷절제 등을 할 것) 燃料電池 인버터 <ul style="list-style-type: none"> — 自動式變換裝置: 自動的으로 同期를 맞추는 기능을 가질 것 — 他勵式變換裝置: 한류 리액터 등의 설치(이것이 불가능한 경우, 配電線증강이나 自動式을 사용할 것) 	<p style="text-align: center;">좌 동</p> <p style="text-align: center;">좌 동</p>
3. 保護協調	<ul style="list-style-type: none"> 事故(連系需用家 구내사고, 配電線事故, 상위 系統事故)시 또는 긴급시 등의 계통조작시에 分散型 電源設備가 확실히 系統分離되도록 할 것 事故時的 自動재폐로(리클로우스)를 가능하게 하기 위해 分散型電源 設備가 확실히 系統분리되는 것을 확인할 것 	<ul style="list-style-type: none"> 短絡, 地絡, 逆電力, 周波數 저하계전기 등을 설치할 것 선로무전압 확인장치를 설치할 것 	<ul style="list-style-type: none"> 短絡, 地絡, 逆電力, 周波數 저하계전기 등을 설치할 것 保護繼電器의 2계열설치(逆變換裝置가 保護機能을 가질 경우 2계열 설치 생략가능) 電力系統이 정전중에 遮斷器의 오투입 방지기구를 설치하고, 정전복귀후에도 오투입 방지기구를 설치할 것

檢 討 項 目	技 術 的 要 件	설 비 대 책	
		一 般 高 壓 配 電 線	低 壓 配 電 線
4. 短絡容量	<ul style="list-style-type: none"> • 系統의 短絡容量이 遮斷器 遮斷容量을 상회하지 않을 것 	<ul style="list-style-type: none"> • 한류리액터 등의 설치(이것이 불가능한 경우, 다른 變電所 뱅크나 特別高壓 送電系統에 連系할 것) 	-
5. 力 率	<ul style="list-style-type: none"> • 高壓: 連系점에서 90% 이상이고, 진상역율이 되지 말 것 • 低壓: 連系점에서 90% 이상이고, 진상역율이 되지 말 것 	<ul style="list-style-type: none"> • 타러식 變換裝置: 力率개선용 콘덴서 설치 	좌 동
6. 高 調 波	<ul style="list-style-type: none"> • 다른 需用家에 影響을 고려하여 高調波 관리를 할 것 	<ul style="list-style-type: none"> • 逆變換裝置: 본체(필터 포함)의 高調波 流出電流의 電流왜형율을 총합 5%, 각차조과 3% 이내로 할 것 	좌 동
7. 연락체계	<ul style="list-style-type: none"> • 긴급시에 신속하고 정확한 연락 및 복구가 가능할 것 	<ul style="list-style-type: none"> • 電力會社와 分散型電源 需用家간에 保安通信用 전화설비의 설치 및 연락체계, 복구체제를 갖출 것 	<ul style="list-style-type: none"> • 電力會社와 연락체계 및 복구체제를 갖출 것

* * * * * <금 언> * * * * *

장래를 이룩하기 위해서는 용기가 필요하다. 노력을 해야 한다. 그러나 신념도 필요한 것이다.

- P.F. 드러커(미국의 경영학자) -

지나치지 않고 알맞게 행동해서 후회하는 일은 없다.

- T.제퍼슨(미국의 3대대통령) -