

On-Site용 燃料電池發電 시스템

1. 머리말

On-Site용 燃料電池發電시스템은 호텔, 병원, 공장 등 電氣와 熱需要가 併存하는 시설을 대상으로 빠른 시장도입이 기대되는 가운데 實用化를 위한 개발이 추진되고 있다., 이에 미쯔비시電機에서는 新에너지·産業技術總合開發機構(NEDO)의 위탁을 받아 關西電力(株) 및 大阪가스(株)와 공동으로 業務用 200kW 燃料電池의 개발과 實證運轉을 행하여 왔다. 發電設備는 大阪市內의 (株)호텔프라자에 설치되어 약 1.5년간에 걸쳐 호텔에 電氣와 熱을 공급하여 우수한 운전성능과 환경성을 實證하였다. 1991년 10월 운전종료까지의 累積發電時間은 약 13,000Hr에 달하였다.

On-Site용 燃料電池는 性能과 信賴性에 관하여는 거의 實用레벨에 달하였다고 판단되나 금후의 시장도입을 위한 코스트低減과 콤팩트化面에서 보다 더 기술개발이 필요하다. 또한 코제너레이션으로서의 利用價値를 높이기 위한 연구도 필요하다. 미쯔비시電機에서는 現시점을 초기 시장도입기로 보고 實證機의 製作機會를 얻으면서 商品化를 향한 개발에 노력을 경주하고 있다.

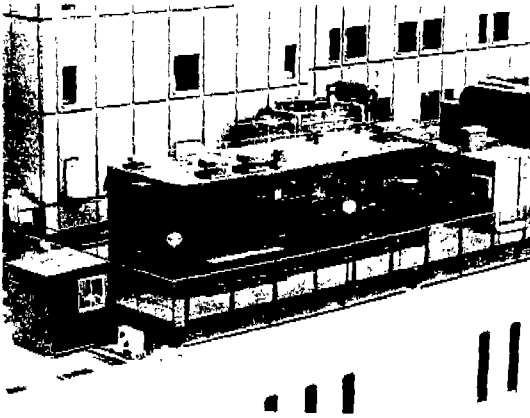
여기서는 호텔프라자에 납품한 業務用 200kW 燃料電池의 운전실적을 기술함과 동시에 미쯔비시電機의 On-Site용 燃料電池發電시스템의 개발상황을 기술한다.

2. 호텔프라자納品 業務用 200kW 燃料電池

業務用 200kW 燃料電池 發電設備를 新에너지·産業技術總合開發機構의 위탁을 받아 개발·제작하여 大阪市內의 호텔프라자에서 實證運轉을 하였다. 發電設備는 日本에서 생산되는 최초의 패키지타입으로서 電氣와 熱을 併合供給하는 코제너레이션으로 제작하였다. 그림 1에 호텔프라자納品 業務用 200kW 燃料電池의 外觀을 보여주고 있다.

2·1 發電設備의 機器構成과 사양의 특징

發電設備는 都市가스(天然가스)와 水蒸氣에서 水素를 발생시키는 燃料改質裝置, 이 水素와 空氣中の 酸素를 電氣化學的으로 반응시켜 直流電氣를 발생시키는 電池스택, 直流電氣를 交



<그림 1> 호텔프라자納品 業務用 200kW 燃料電池

流로 변환하여 系統에 병입시키는 인버터, 電池 스택의 反應熱 및 設備의 排가스 熱을 回收하는 排熱回收裝置로 構成된다. 發電設備의 사양은 표 1에 표시하는 것과 같다.

發電設備는 系統獨立運轉과 系統連系運轉의 양쪽으로 대응할 수 있다. 送電端의 발전효율은 36%, 熱을 종합한 종합효율은 80%(모두 HHV 기준)로 發電設備가 공급하는 電力과 熱

<표 1> 호텔프라자納品 業務用 燃料電池 사양

항 목	사 양
燃 料	低壓都市가스
定 格 出 力(送電端)	AC 200kW
發 電 效 率(HHV 기준)	36% 이상
總 合 效 率(HHV 기준)	80% 이상
電 壓 · 周 波 數	440V, 3φ, 60Hz
高 調 波	5% 이하(系統獨立時) 2% 이하(系統連系時)
運 轉 方 式	系統獨立 및 系統連系
起 動 時 間	3h
排 熱 溫 度 條 件	高位排熱: 170°C 低位排熱: 70°C
外 形 크 기	10(폭)×3.1(길이)×3.2(높이)(m)

은 호텔 전체 전력수요의 약 10%, 열수요의 약 5%를 커버한다. 排熱로서는 170°C의 스팀과 70°C의 溫水를 공급할 수 있는 것이 특징이고, 이 排熱은 호텔의 냉방, 난방 및 급탕에 이용하였다. 기동시의 電池스택 昇溫手段으로서 기동용보일러를 배치하고 기동시의 消費電力低減과 아울러 기동시간의 단축을 도모하고 있다. 水蒸氣分離器에는 20% 負荷상당의 로드히터를 설치하였고, 20% 이하의 部分負荷에 있어서도 電池負荷가 20% 상당을 유지할 수 있도록 히터에 電力을 소비시키고 그 분만큼의 熱을 回收할 수 있도록 하였다. 또 熱交換器에는 프레이트핀형을 채용하여 콤팩트화를 도모하고 있다. 그림 2에 燃料電池發電設備의 系統플로를 표시한다.

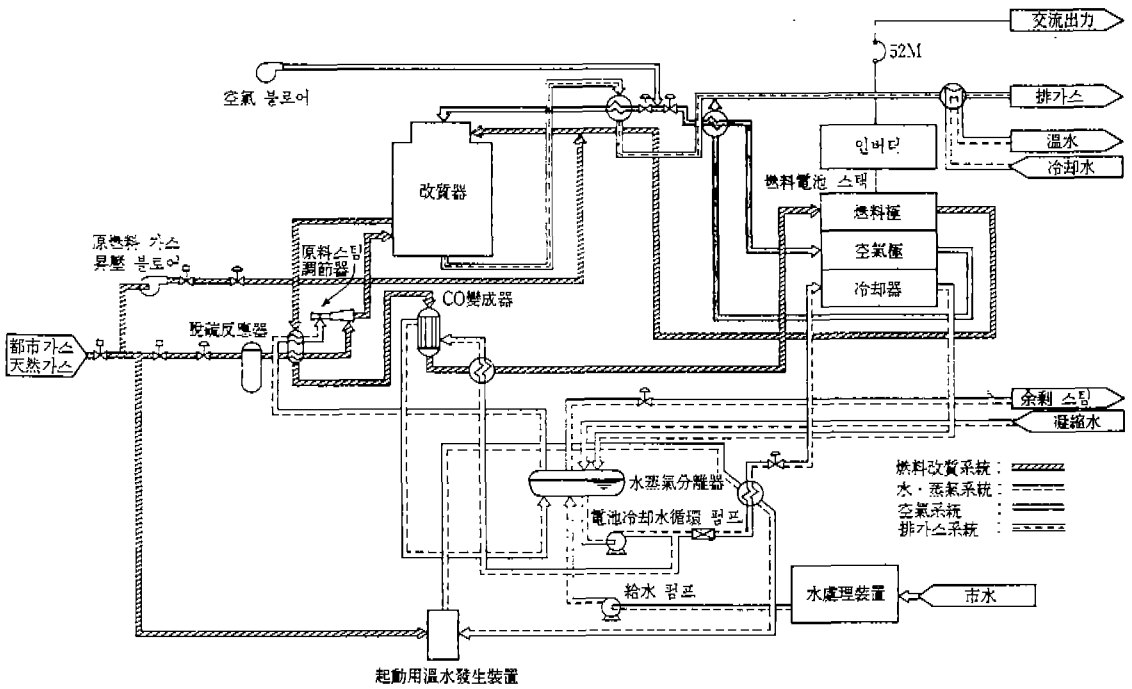
2·2 主要機器의 특징

(1) 電池스택

セル特性向上, 長壽命化를 목표로 리브가 달린 세퍼레이터의 리브部를 多孔質로 하고 인산貯藏機能이 있는 세퍼레이터構造, 電極의 信賴性 向上을 도모하는 시트化 電極構造를 채용하고 있다.

(2) 改質系

脫硫器·改質器·CO變成器로 構成된다. 改質器는 On-Site용으로 콤팩트하고 低壓摺프로세스에 적합한 內炎型反應管, 多管式分散버너構造를 채용하고 있다. 脫硫器는 常溫吸着型을 채용하여 간소화와 기동시간단축을 기하고 있다. CO變成器는 內部熱交換型的 低溫CO變成器 1段構造로 하여 콤팩트화를 도모하였다.



(3) 인버터

變換素子로 파워트랜지스터를, 制御方式으로는 多펄스 PWM方式을 채용하여 系統變動에 대한 追從性을 높이고 있다. 盤은 出力트랜스盤을 포함하여 3면으로 되어 있고 설치면적 3.6 × 0.6(m) 정도의 콤팩트한 구조이다.

정지중에는 保溫모드로 되어 電池스택의 保溫處置가 자동적으로 된다. 기동시는 대기 또는 발전 푸시버튼操作에 의하여 자동적으로 발전 대기상태 또는 부하운전상태로 移行한다. 또 停止버튼操作에 의하여 設備은 안전하게 정지하며 정지동작완료후에는 자동적으로 保溫모드로 移行한다. 표 2 에 運轉모드를 표시한다.

2·3 運轉制御法의 특징

(1) 運轉方式

發電設備의 運轉모드는 대기·발전·정지의 3종류를 기본으로 하고 그 사이의 모드이행은 푸시버튼操作만으로 全自動이 가능하도록 하였다.

(2) 制御方式과 보호

發電設備은 制御裝置외에 인버터, 水處理裝置, 排熱利用設備가 각각 制御機能을 가지고 있으며 이들의 장치를 制御裝置로 統括制御하는 방식을 취하고 있다.

制御는 外的條件의 變化 또는 經時變化에 대

<표 2> 運轉 모드

모 드	플랜트의 狀態	비 고
完全 停止	· 改質系常溫常壓 · 電池히터 保溫 및 通水保溫(50~60℃)	· 改質系, 電池兩極 N ₂ 퍼지 · 電池保溫히터 및 電池 冷却水 림프에 의한 保溫
停 止 (保溫運轉)	· 改質系常溫常壓 · 電池保溫(65~90℃)	· 改質系, 電池兩極 N ₂ 퍼지 · 電池冷却水 림프發熱에 의한 水溫유지
待 機	· 로드히터(40kW)+補機動力 相當 發電	· 로드히터 消費電力
發 電	· 0~100% 負荷運轉	· 送電端出力 0~200 kW

하여 본질적으로 시스템의 안정화를 도모하기 위하여 피드백컨트롤을 기본으로 구성하였다. 주된 制御루프는 出力制御, 改質器燃焼制御 등이다. 出力制御에서는 電池電流에 의한 燃料 및 空氣를 컨트롤하고 空氣의 컨트롤은 空氣블로어의 回轉數制御로 행하였다. 各負荷에서의 燃料流量設定은 電池스택의 燃料利用率을 설정함으로써 행하여진다. 改質器的 燃焼量은 이 설정치에 의존하기 때문에 燃焼空氣量を 制御하여 改質器溫度調整을 하고 있다. 코제너레이션으로서의 制御는 電力이 主, 熱負荷가 從이고 設定出力에 따라 얻어지는 排熱을 이용하는 방식으로 하고 있다. 發電設備로부터 얻어지는 排熱량과 熱需要와의 差는 排熱利用設備側에서 放熱과 組合하여 자동조정되며 水蒸氣分離器의 압력변동 등, 發電設備에의 영향이 없도록 하였다.

플랜트停止時에는 자동적으로 시스템內的 可燃性가스를 空素로 置換한다. 또 可燃性가스라인의 緊急遮斷밸브, 窒素供給밸브에는 스프링리턴밸브를 채용하여 電源喪失時에도 안전하게 정지할 수 있도록 하였다.

2.4 發電設備의 운전실적

實證運轉에서는 효율, 기동시간, 환경성 등에 있어서 開發目標를 달성하는 양호한 결과를 얻었다. 또 장기간에 걸쳐 안정된 運轉이 확인되어 On-Site 業務用으로서의 實用性이 立證되었다. 표 3에 운전실적을 표시한다.

(1) 效 率

發電效率는 定格負荷에서 送電端 36% (HHV기준)의 목표치를 달성하였다. 또 部分負荷에 있어서도 空氣블로어에 인버터制御를 채용하여 補機動力를 低減시키는 등에 의하여 高效率를 유지하였다. 40kW 이하의 負荷에서는 로드히터에 電力을 소비시켜 電池스택負荷를 40kW로 일정하게 유지하기 때문에 高位排熱을 回收할 수 있다. 그림 3에 發電效率과 排熱量의 負荷特性實測値를 표시한다.

(2) 起動特性

冷起動時間은 목표인 3시간을 달성하였다. 기

<표 3> 200kW 燃料電池의 운전실적

特 性	
· 發電效率(送電端 HHV 기준)	36.0%
· 熱回收率(HHV 基準)	高位排熱(170℃)18.1% 低位排熱(70℃)26.1%
· 總合效率(HHV 기준)	80.2%
· 起動時間	3.0h(冷起動)
· 負荷應答	±20%瞬時
· NO _x 值	4ppm(O ₂ 7% 환산)
運轉記錄	
· 累積發電時間	13,038h
· 最長連續發電時間	2,656h
· 累積發電電力量	1,797MWh
· 起動回數	60回
· 吸收式冷溫水機運轉時間	2,214h

동시시간은 改質器의 CO變成器의 昇溫時間에 의존하기 때문에 昇溫時에는 窒素와 스팀을 通氣하여 改質器의 均一加熱과 CO變成器의 昇溫의 단축화를 기하고 있다. 今후에는 改質器의 昇溫速度的 上昇에 의하여 더욱 起動시간이 단축될 것으로 보인다. 그림 4에 起動特性을 표시한다.

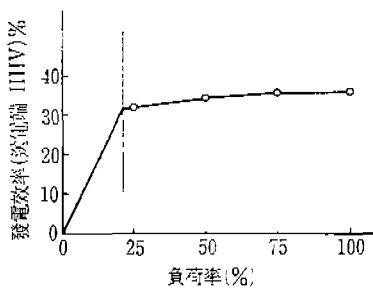
(3) 電池스택特性 經時變化

그림 5에 電池스택電壓의 經時變化를 표시한다. 그림에서 표시하는 바와 같이 電壓低下率은 최종 3~4%/1만h 정도이고 4만h의 運轉에서

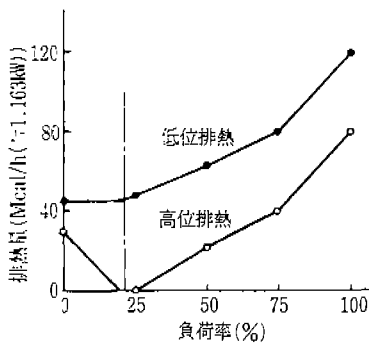
電壓低下率 10% 이하의 목표를 달성할 수 있을 것으로 본다.

(4) 環境性

環境性에 관하여는 NO_x : 4ppm (O_2 7%值), SO_x · 煤煙 公히 檢出되지 않는 등 극히 양호한 結果를 얻었다. 이와 같은 低 NO_x 특성은 改質器 버너가 電池의 오프가스(水素를 主成分으로 한다)를 燃料로 하는 本적으로 發熱量이 적은 燃料인 것과 關係가 있다. 騒音도 주위의 暗騒音(60dB(A)정도) 이하의 레벨이었다. 이 양호한

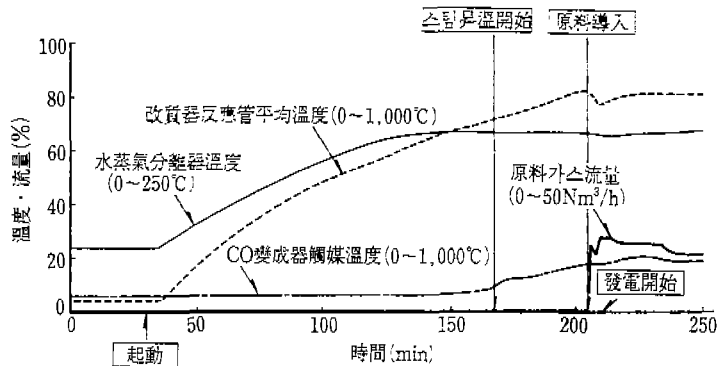


(a) 發電效率과 負荷特性

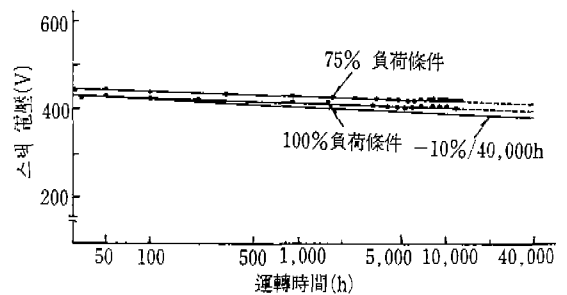


(b) 排熱量과 負荷特性

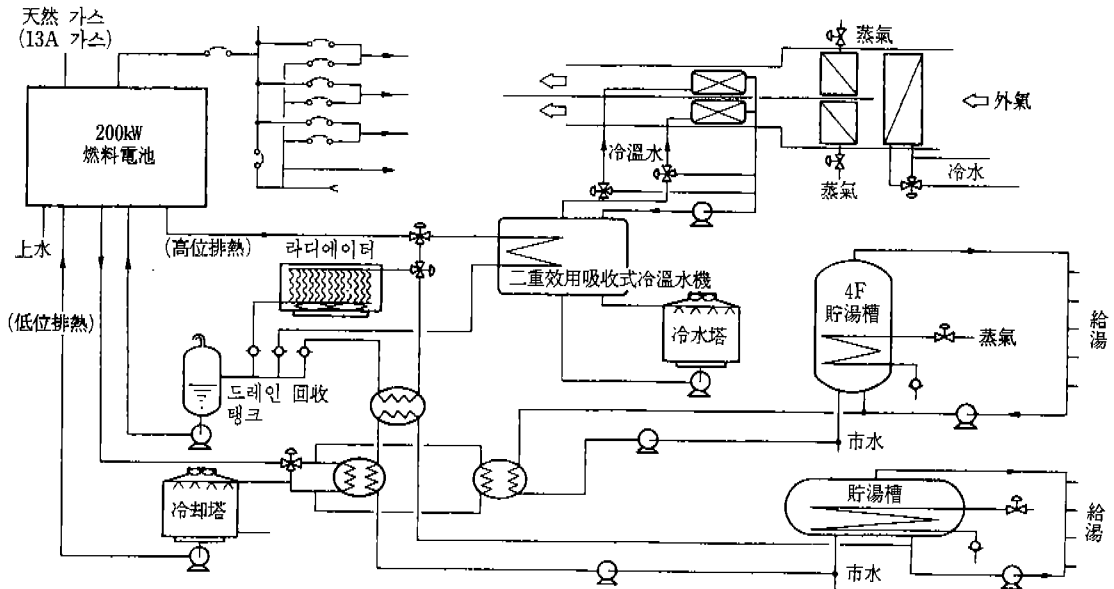
<그림 3> 發電效率과 排熱量의 負荷特性



<그림 4> 起動特性



<그림 5> 電池 스택 電壓의 經時變化



<그림 6> 호텔프라자納品 業務用 燃料電池의 排熱利用 시스템

環境性은 On-Site用 燃料電池의 有用性을 높이는 것이다.

2.5 排熱利用

排熱利用시스템의 構成을 그림 6에 표시한다. 燃料電池로부터의 排熱로서는 주로 電池스택의 反應熱에서 얻어지는 高位排熱과 설비의 排가스에서 얻어지는 低位排熱의 2종류가 이용된다. 이 설비에서는 高位排熱로서 잉여스팀을 직접의부로 빼내어 二重效用吸收式 冷溫水機의 熱源으로 이용하고 있는 것이 특징이다. 이것은 燃料電池로서는 처음 시도된 것이지만 實證運轉을 통하여 실제로 호텔 客室에 안정된 空調用 冷熱을 공급할 수가 있었다. 低位排熱은 70°C 溫水로 回收되어 熱交換器를 통하여 호텔의 貯湯槽에 공급된다. 定格負荷에서의 熱回收

率은 高位: 18.1%, 低位: 26.1%로 發電을 포함한 總合效率은 80.2%를 달성하였다. 高位排熱로부터의 供給冷熱은 약 30冷凍톤(RT)을 얻고 있다. 排熱利用設備는 發電設備와 組合하여 自動運轉하였다. 또 負荷變化에 대하여도 안정된 排熱利用의 컨트롤이 가능한 것을 확인하였다.

2.6 安全性 및 維持補修

영업중인 호텔에 燃料電池를 설치하여 약 1.5년간에 걸친 實證運轉을 통하여 코제너레이션으로서의 實用性을 檢證하였다. 이 기간 運轉 研究를 위하여 연구원이 駐在하였지만 야간, 휴일에는 無人運轉을 하여 保安上 아무런 지장이 없는 것을 확인하였다. 유지·보수면에서는 2개월마다의 水處理裝置 이온교환수지 交換, 필터

類의 點檢의에 1년1회 定期點檢을 하면 되는 것을 확인하였다.

3. On-Site용 燃料電池의 금후의 開發

호텔프라자納品 業務用 200kW 燃料電池의 實績을 기초로 시스템의 信賴性向上 및 코스트低減과 콤팩트化的 開發을 추진하고 있다. 또 겸하여 시스템의 경제성을 높이는 排熱의 有效利用에 대하여도 연구하고 있다. 아래에 미쯔비시 電機의 On-Site용 燃料電池의 開發計劃을 기술한다.

3.1 기본사양

호텔프라자機를 기본으로 하여 高位排熱量의 증가와 排熱의 有效利用을 도모한다.

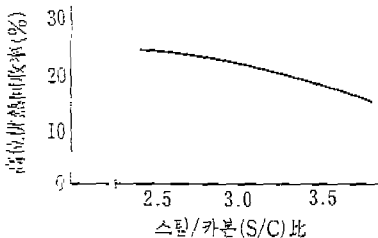
(1) 高位排熱量의 증가

電池스택에서 발생한 熱은 水蒸氣分離器에서

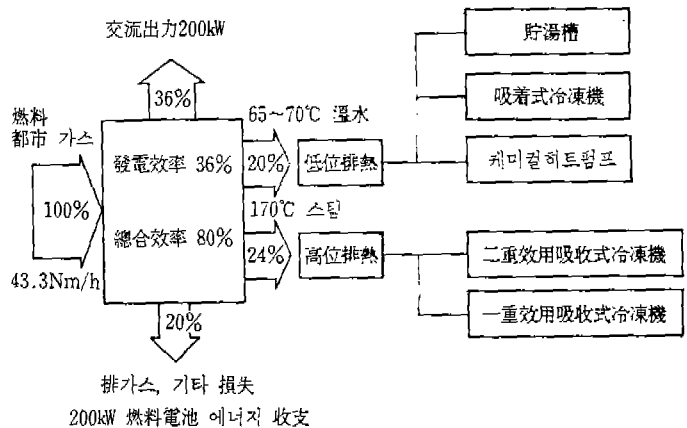
蒸氣로 回收되지만 그 일부가 改質用으로 소비된 다음 나머지가 高位排熱로 이용된다. 호텔프라자機에서는 改質用에 소비되는 蒸氣는 스팀/카본比(S/C) 3.5였지만 이것을 낮춤으로써 系外로 배출 수 있는 高位排熱量이 증가한다. S/C를 감소시켰을 때의 高位排熱量의 증가를 그림 7에 표시한다. S/C를 2.5로 하면 高位排熱量은 18%에서 24%로 증가하고 200kW의 설비에서 얻어지는 空調冷熱도 30RT에서 40RT로 증가한다. 이와 같이 低S/C運轉의 실현을 위해서는 改質器에서 카본析出이 생기지 않는 觸媒技術이 필요하며 이를 위한 開發을 하고 있다.

(2) 排熱의 有效利用

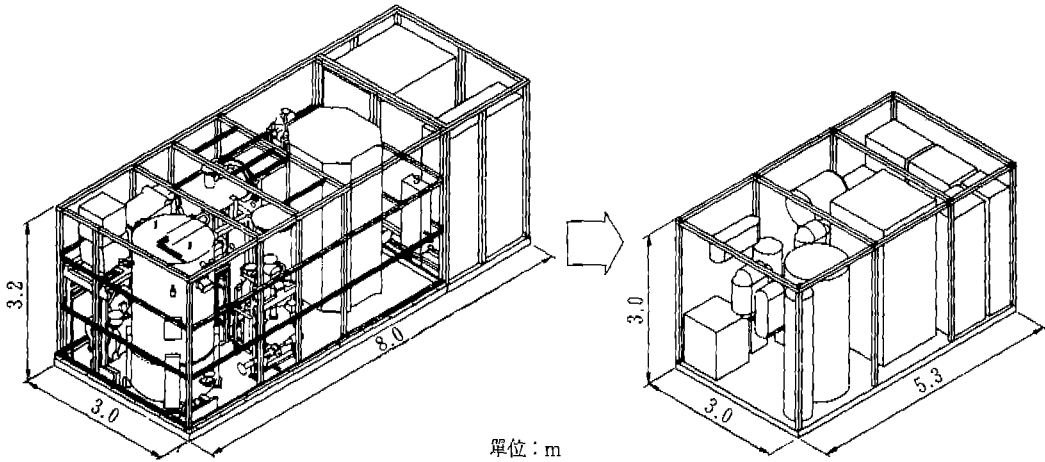
高位排熱이 空調負荷를 비롯한 廣範圍한 需要에 대응할 수 있는데 비하여 낮은 온도의 低位排熱은 호텔 등의 일부를 제외하고는 利用가치가 낮은 것으로 생각되어 왔다. 그러나 70℃ 정도의 溫水로부터 冷熱을 얻는 冷凍機의 開發이 추진되고 있으며 이것을 利用하면 低位排熱



<그림 7> 高位排熱回收率



<그림 8> 燃料電池와 排熱利用의 組合



(a) 商用 프로트機 200kW 燃料電池

(b) 量産機 200kW 燃料電池

<그림 9> 燃料電池發電設備의 外形

에서도 冷房이 가능해져서 燃料電池의 이용가치는 높아진다. 미쯔비시電機에서도 低溫排熱利用冷凍機로서 化學反應에 수반하는 吸·發熱을 이용하는 케미컬히트펌프의 개발을 추진하고 있다. 70℃ 溫水로 成績係數 0.38의 冷房出力을 얻을 수 있고 燃料電池와 組合한 實證試驗도 하고 있다. 이와 같은 熱利用機器를 사용한 燃料電池의 排熱을 유효하게 이용하기 위한 組合을 그림 8에 표시한다.

3.2 시스템構成

시스템構成은 기본적으로는 호텔프라자機와 동일하지만 改質器·電池스택 등 主要機器의 特性向上에 의한 콤팩트화를 달성하고 더욱이 밸브·計裝品을 削減시켜 發電設備 전체의 콤팩트화, 間素化를 도모하는 계획이다. 그림 9에 發電設備의 外形을 표시한다. 설치면적은 현재의 商用프로트機가 0.12m²/kW이지만 量産機에서는 0.08m²/kW 이하로 축소할 계획이다.

3.3 點檢 및 維持·補修

표 4에 發電設備의 점검 및 유지보수 내용을 표시한다. 發電設備는 기본적으로 全自動運轉이

<표 4> 燃料電池發電設備의 점검 및 유지보수

項	目	點檢週期	備 考
發電設備·排熱利用設備의 일상점검		매 일 (파트롤)	異常有無 체크
運轉中	(1) 필터類의 점검	3개월	정소 또는 교환
	(2) 水處理裝置 이온交換 樹脂교환	2~3개월	
	(3) 脫硫器吸着材 교환	6개월	바이패스로 交替
	(4) 매연測定	6개월	法定
定期點檢停止中	(1) 定期점검	1년	
	(a) 펌프·볼로이 점검		
	(b) 弁·計裝品 점검(校正)		
	(c) 水處理裝置 점검		
	(d) 起動用 보일러 점검		
	(e) 인버터 점검		
	(f) 改質器 燃焼系 점검		
	(g) 電池 스택크 점검		
	(2) CO變成器觸媒 교환	2~3년	
	(3) 改質器觸媒 교환	5년	
(4) 電池 스택크 교환	5년		

지단 點檢은 1일1회의 日常點檢과 一定週期마다의 點檢을 기본으로 한다. 實積의 集積에 따라 장래에는 유지·보수·점검의 輕減을 기하고자 한다.

4. 金후의 課題

1990년6월에 綜合에너지調查會 및 電氣事業審議會에 의하여 三本の 長期電力需給展望이 보고되어 燃料電池의 도입목표가 설정되었다. 또한 法的規制의 완화 등 燃料電池導入에 대한 조건이 整備되어 가고 있다. 이런 가운데 코제너레이션을 전제로 하는 On-Site用 燃料電池의 빠른 부상이 예상된다. 아래에 On-Site用 燃料電池의 상품화를 위한 金후의 技術課題에 대하여 기술한다.

(1) 코스트의 低減 및 콤팩트化

On-Site用 燃料電池는 地價가 높은 都市部에의 설치를 전제로 하기 때문에 코스트低減과 아울러 콤팩트化, 특히 설치면적의 축소가 중요한 과제이다. 기본적으로는 必要機能을 재검토하여 容器·機器의 削減과 制御의 간소화를 기하여 콤팩트化를 달성하고 표준화, 자동화를 기하여 코스트의 低減을 도모한다. 또한 용도에 따른 發電設備 사양의 選別도 필요하며 이 때문에 發電效率, 排熱回收量 등의 사양평가를 포함할 종합적인 경제성평가를 행하여 發電設備로서의 상품가치의 향상을 지향한다.

(2) 熱利用效率의 향상

코제너레이션으로서 熱利用效率向上을 위한 과제를 다음에 든다.

- 低S/C 프로세스의 개발에 의한 高位排熱量의 증가-低S/C 改質觸媒의 개발
- 高排熱回收 프로세스의 개발-경제적이고 효율적인 系內熱回收
- 機器·配管의 콤팩트化에 의한 설비의 放熱低減
- 低溫水利用冷凍機의 개발

(3) 시스템과 運用의 최적화

發電設備과 排熱利用設備를 최적구성으로 하고 最適運用함이 필요하다. 구체적인 과제를 다음에 든다.

- 發電設備의 出力과 熱負荷의 整合이 이루어진 排熱利用시스템의 구성
 - 冷熱·溫熱의 有効이용
- 熱併合設備로서의 신뢰성향상
 - 系統電源과 밸런스가 취해진 熱併合의 신뢰성
- 發電設備의 熱負荷追從制御, 電力負荷追從制御의 組合에 의한 최적운용

5. 맺음말

미쓰비시電機의 On-Site用 燃料電池 發電시스템의 개발은 (株)호텔프라자納品 業務用, 關西電力(株) 六甲 新에너지實驗센터納品の 運轉研究에서의 실적을 바탕으로 事業化開發으로 나아가고 있다. On-Site用 燃料電池의 빠른 실용화를 향하여 金후에도 技術개발에 박차를 가할 생각이다.

本稿는 日本 三菱電機(株)의 諒解下에 번역한 것으로서, 著作權은 上記社에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.