

Japan gelooft in de brandstofcel

David van Erp, stagiair TWA Tokio – 1-3-2003

Samenvatting

In de media wordt al veelvuldig over de “waterstof-economie” gesproken. Een economie die landen voor hun energiebehoefte minder afhankelijk maakt van andere landen en die beschikt over een 100% schone en onuitputbare energieopwekking.

Details

Naarmate de energiebehoefte van huishoudens over de hele wereld stijgt, de luchtvervuiling in vele steden toeneemt en door de vraag naar een hogere efficiëntie van bijvoorbeeld voertuigen vanwege de dure brandstoffen, wordt de drang naar een schonere, efficiëntere en meer duurzamer economie alsmaar groter.

De brandstofceltechnologie wordt in zowel de VS, de EU als in Japan op dit moment grondig bestudeerd, om zo spoedig mogelijk de eerste commerciële toepassingen op de markt te kunnen brengen. Japan heeft zichzelf tot doel gesteld om binnen drie jaar de laatste grote obstakels voor de introductie van de brandstofcel weg te nemen. Deze worden hoofdzakelijk gevormd door de kosten en de duurzaamheid van de brandstofcel en de productie en opslag van de waterstof, wat de brandstof voor de brandstofcellen vormt.

Ook in Nederland zijn diverse organisaties druk bezig met toepassingen van de brandstofcel. Terwijl men in Nederland zich meer lijkt te concentreren op de toepassingen voor grote energieopwekking en transport, ontwikkelen Japanse bedrijven ook toepassingen voor huishoudens en de micro-elektronica.

Japan is al decennia lang een land waar zeer innovatieve technologieën worden ontwikkeld en worden toegepast. Ook is Japan een land waar milieuaspecten sterker meewegen dan in veel andere geïndustrialiseerde landen en wordt het land gedwongen om efficiënt om te gaan met de spaarzame grondstoffen, om zo minder afhankelijk te zijn van het buitenland.

In meerdere markten lijken Japanse bedrijven redelijk succesvol in het verhogen van de efficiency en het verlagen van de uitstoot, door het toepassen van innovaties in conventionele sectoren van de industrie. Bedrijven als Toshiba, Hitachi, Fuji Electric, Toyota, Honda, Nissan, Matsushita, MHI en IHI houden zich ook, samen met nog tientallen andere organisaties, bezig met de brandstofceltechnologie, eigenlijk een relatief oude technologie, die tot op heden nog nooit op commerciële basis werd toegepast. Dit vanwege de hoge productieprijs en tot voor kort onoplosbare

technische en logistieke problemen. De brandstofceltechnologie, die aan de basis staat van de waterstofeconomie, lijkt nu toch langzaam de stap naar commercialisatie te gaan maken.

Opvallend in Japan is dat de politiek zich ook actief bemoeit met de ontwikkelingen rondom de brandstofcel.

“The fuel cell is the key to opening the doors to a hydrogen economy.

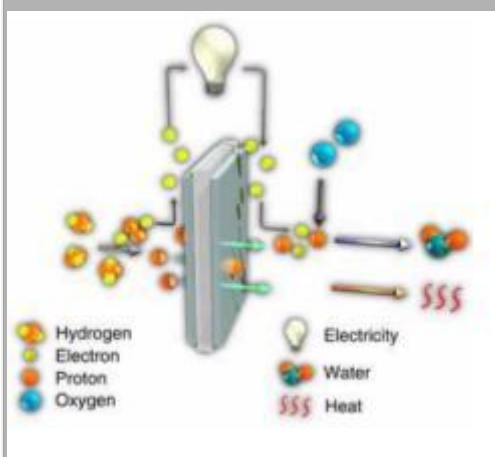
We will aim to achieve its practical use as a power source for vehicles and households within three years.”

– Junichiro Koizumi, Prime-Minister of Japan –

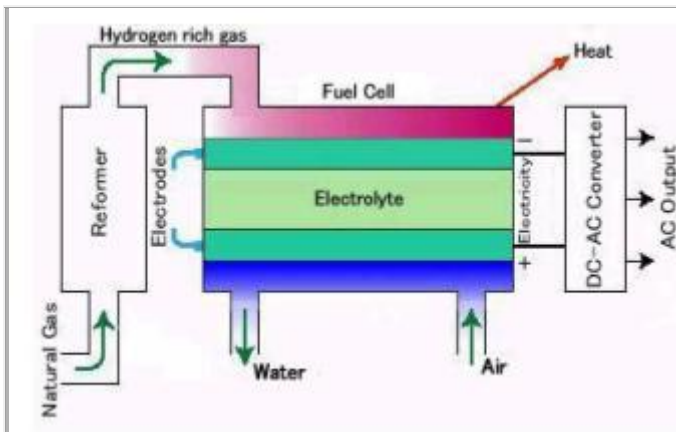
–Policy speech , 4 februari 2002–

Brandstofcelsystemen worden momenteel ontwikkeld voor vier verschillende markten, namelijk de automobielin industrie, de huishoudelijke industrie, de grootschalige energieproductie en de micro-elektronica industrie. Hieronder volgt de beknopte weergave van de huidige ontwikkelingen in de betreffende industrietakken.

Het principe van de Brandstofcel



Figuur 1. Schematische weergave van een brandstofcel stack



Figuur 2. Een door aardgas aangedreven brandstofcelsysteem

Een brandstofcel bevat twee elektrodes – een anode en een kathode – die gescheiden zijn door een elektrolyt (zie Figuur 1). Het elektrolyt is geleidend voor protonen, maar isolerend voor elektronen. Waterstofgas (H_2) wordt aangevoerd aan de anodezijde en zuurstof (O_2) aan de kathodezijde. In het protonengeleidende elektrolyt diffunderen de protonen – positief geladen waterstofionen (H^+) – door het elektrolyt om samen met zuurstof water te vormen (H_2O). De elektronen die vrijkomen worden afgevangen via een extern circuit. Zodoende ontstaat een spanning tussen de anode en de kathode. Naast het water ontstaat er ook nog hitte door de reactie.

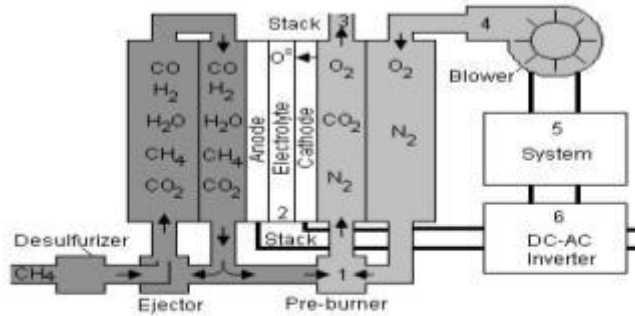
Naast meerdere aaneengeschakelde units van een brandstofcel (ook wel “stacks” genaamd) zijn er een aantal verschillende elementen die deel uitmaken van het brandstofcelsysteem. De temperatuur en de luchtvochtigheid van de stack wordt geregeld met behulp van de nodige randapparatuur, zoals pompen, een warmtewisselaar, een bevochtiger en een luchtcompressor. Verder is de brandstofopslag en -aanvoer van belang. Als er geen zuivere waterstof wordt getankt maar methanol of benzine, dient deze brandstof te worden omgezet naar waterstofrijk gas. Hiervoor zijn 'reformers' beschikbaar. Een voorbeeld van een door aardgas aangedreven brandstofcel systeem is schematisch weergegeven in Figuur 2.

Er zijn verschillende type brandstofcellen met elk hun eigen voordelen en nadelen. Sommige gebruiken andere brandstoffen dan zuivere waterstof en sommige hebben een hele hoge werkingstemperatuur.

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)

De SOFC is in theorie de meest efficiënte brandstofcel. Hij is relatief ongevoelig

voor kleine vervuiling en onzuiverheden in de brandstof. *Hij bestaat in twee vormen, namelijk in de vorm van een platte plaat en in de vorm van een cilinder. De SOFC heeft een werkteemperatuur van tussen de 650°C en 1000°C. De behuizing van deze cellen moet tegen die temperatuur bestand zijn.*



Figuur 3. Brandstofcel type SOFC

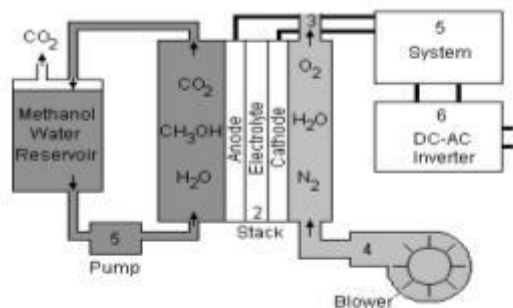
Op het plaatje is weergegeven hoe de SOFC werkt. In dit geval wordt methanol naar binnen gespoten en ontzwaveld. Dan wordt er CO₂, H₂ en CH₄ langs de anode geblazen en komt het proces op gang. Aan de andere kant wordt er gewone lucht gebruikt. Hierdoor komt er zuurstof en stikstof kooldioxide langs de kathode. Ook kunnen we zien dat de brandstofcel gelijkstroom levert, dus vandaar de omvormer.

Technische gegevens van de SOFC:

- Werktemperatuur: 650° C – 1000° C,
- Efficiency: 40% tot 45%
- Anode reactie: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$
- Kathode reactie: $\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$
- Conducting ion: O^{2-}
- Electrocatalyst: Ni/Perovskites
- Brandstof: H₂ and CO reformed and CH₄
- Vermogensdichtheid: 240 mW/cm³

Direct Alcohol Fuel Cell (DAFC)

Dit type brandstofcel gebruikt methanol (DMFC) of ethanol (DEFC) als brandstof. Hierbij wordt ethanol of methanol niet omgevormd tot waterstofgas, maar wordt het direct gebruikt. Dit type fuelcell opereert bij een temperatuur van tussen de 50°C en 100°C en is hierdoor ideaal voor het gebruik ten behoeve van kleine elektronische apparaten. Methanol is de meest populaire brandstof voor deze brandstofcel vanwege zijn hoge vermogensdichtheid.



Figuur 4. Werking brandstofcel type DAFC

In Figuur 4 is weergegeven hoe de DAFC werkt. De pomp en de blower zorgen ervoor dat er voldoende druk ontstaat en er een goede circulatie plaatsvindt, met als doel de efficiency te verhogen. Ook kunnen we zien dat de DAFC niet geheel zero-emmission is.

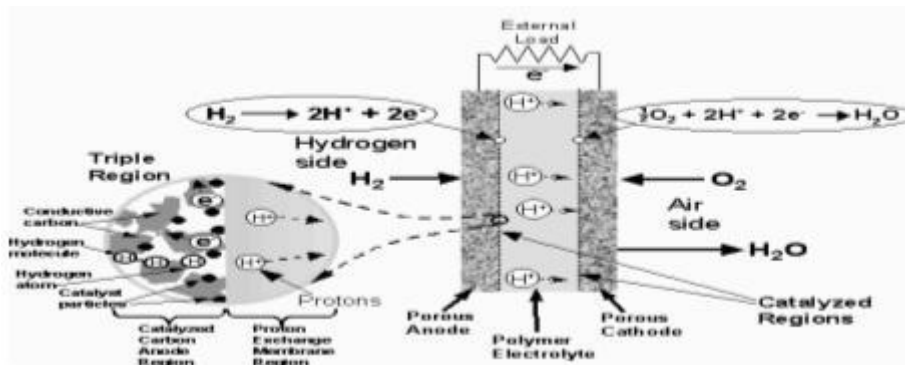
Technische gegevens van de DMFC:

- Werktemperatuur: 80° C,
- Efficiency: 25%
- Anodereactie: $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$
- Kathodereactie: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- Conducting ion: H^+
- Electrocatalyst: Pt

- Brandstof: CH₃OH
- Vermogensdichtheid: 20 mW/cm³

Polymeer Elektrolyt Fuel Cell (PEFC)

De PEFC wordt gezien als het meest veelbelovend door alle voorstanders van de waterstofeconomie. Hij maakt gebruik van pure waterstof en pure zuurstof. Er is helaas een groot nadeel verbonden aan de PEFC. Dit nadeel van de PEFC is dat deze brandstofcel theoretisch wel een hoog rendement heeft van 45% maar dat dit rendement dat aanzienlijk daalt als er in de praktijk gewerkt wordt met een omvormer om waterstof vrij te maken. De PEFC werkt gewoonlijk op een temperatuur van ongeveer 80° C



Figuur 5. Brandstofcel type PEFC

Technische gegevens van de PEFC/PEM:

- Werktemperatuur: 90° C,
- Efficiency: 45%
- Anodereactie: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
- Kathodereactie: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
- Conducting ion: H⁺
- Electrocatalyst: Pt
- Brandstof: H₂ (pure or reformed)

- Vermogensdichtheid: 300 mW/cm³

Fosfor Zuur Fuel Cell (PAFC)

De fosfor zuur brandstofcel is de enige brandstofcel die al in de semi-commerciële fase zit en als zodanig wordt gebruikt. De meeste hebben een capaciteit van 50 tot 200kW, maar er zijn grotere krachtcentrales die variëren van 1 MW tot 5 MW. De allergrootste is 11 MW.

De werkteemperatuur van de PAFC ligt tussen de 150 en 220° C. Er wordt gebruik gemaakt van het zuur H₃PO₄ dat vandaag de dag ook veel gebruikt wordt voor andere doeleinden. Het gemiddelde elektrische rendement 40 tot 45%. Een zure brandstofcel heeft geen problemen met kooldioxiden. Waterstofrijke mengsels verkregen uit bijvoorbeeld aardgas of via vergassing van steenkool zijn zonder kooldioxidezuivering te gebruiken in de brandstofcel. Wel is dit type minder goed bestand tegen CO, COS of H₂S.

Technische gegevens van de PAFC:

- Werktemperatuur: 200° C, Efficiency: 42%
- Anodereactie: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
- Kathodereactie: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
- Conducting ion: H⁺
- Electrocatalyst: Pt
- Brandstof: H₂ (reformed)
- Vermogensdichtheid: 220 mW/cm³



Figuur 6. 200kW PAFC Type PC25TMC

Gesmolten Carbonaat Brandstofcel (MCFC)

Enkele Japanse bedrijven denken in 2004 in staat te zijn op grotere schaal semi-commerciële MCFC's te maken. Op dit moment wordt op kleine schaal en op semi-commerciële basis gebruik gemaakt van de MCFC. De MCFC maakt in tegenstelling tot andere brandstofcellen ook gebruik van CO₂.

In de carbonaatcel reageert de brandstof met bijvoorbeeld kolengas, deze bestaat uit koolmonoxide en waterstof. Er wordt aan de anode kant water en kooldioxide gevormd. Het gevormde kooldioxide wordt desgewenst naar de lucht kathode geleid. De vrijkomende elektronen gaan via de externe belasting (de gebruiker) naar de kathode. Daarbij worden carbonaationen gevormd die door de elektrolyt bewegen naar de anode.

Technische gegevens van de MCFC:

- Werktemperatuur: 650° C,
- Efficiency: 50%
- Anodereactie: $H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$
- Kathodereactie: $O_2 + 2CO_2 + 4e^- \rightarrow 2CO_3^{2-}$
- Conducting ion: CO_3^{2-}
- Electrocatalyst: Ni/LiNiOx
- Brandstof: H₂ and CO reformed and CH₄
- Vermogensdichtheid: 150 mW/cm³

(Continue to Part 2)