연료전지자동차용 고압기체 수소저장 기술의 현황 및 발전 방향

박지상, 김태욱 | 한국기계연구원, 정재한 | (주)이노컴

1. 서 론

세계의 자동차 업계는 차세대 무공해 자동차로 수소를 연료로 하는 '연료전지자동차(FCV, Fuel Cell Vehicles)'의 실용화 개발에 박차를 가하고 있다. 이미 GM, 포드, 크라이슬러, 토요타, 현대 등 선도적 자동차 업체들은 2005년 이전 실용화를 선언하였으며, 2010년까지는 대량 생산과 보급이 이루어질 전망이다. 연료전지 자동차의 개발과 실용화는, 세계 각국의 에너지 정책 및 환경 정책과 맞물려, 세계의 자동차 산업과 에너지 산업의 판도를 뒤바꿀 것으로 예상된다. 일본의 21세기 신기술, 신시장 조사에 따르면, 연료전지 자동차의 세계시장 규모는 실용화 초기인 2010년에는 14조원 규모의 시장이 창출되고, 2020년까지는 그 10배인 140조원 규모까지 성장할 것으로 예상하고 있다. 이미 국내 자동차 업계와 정부도 이에 주목하여 연료전지자동차 기술 개발을 국내 자동차 산업의 차세대 성장 동력으로 지목하고 있다.

연료전지 자동차의 실용화를 위해 가장 관건이 되는 문제는 역시 수소저장 기술인데, 수소의 상대적으로 낮은 에너지 밀도로 인해, 기존 가솔린 자동차에 준하는 주행거리를 갖기 위해서는 700 bar 수준의 초고압 기체 수소저장 기술이 요구된다. 현재로서는 경량, 고강성의 탄소섬유를 적용한 복합재 압력용기가 이를 위한 유일한 해답으로 인정되고 있다. 이미 천연가스 자동차의 압축천연가스 저장용기로 200~250bar 급의 복합재 압력용기는 상용화되어 널리 사용되고 있다.

고성능 복합재 압력용기는 라이너의 재료에 따라 Type III (알루미늄 라이너)와 Type IV (폴리머 라이너)로 구분된다. 이는 라이너에 고강도, 고강성의 탄소섬유를 에폭시수지에 함침시켜 와인딩한 후 경화시켜 제작되는데, 탄소/에폭시 복합재 층이 내압 하중의 대부분을 견디며, 라이너는 기밀유지와 와인딩을 위한 형상을 제공하는 역할을 한다. 이러한 재료 조합의 복합재 실린더는 경량의 초고압 가스 저장 시스템으로서 안전성과 성능 면에서 가장 이상적인 구조이다. 그 특성으로는 기존 스틸 용기 대비 70%까지 경량화가 가능하며(lightweight), 초고압으로 적은 부피에 고용량(compact)이며, 내부식성 및 내피로 특성이 뛰어나고(durable), 폭발 전 압력누출로 안전성이

높은(safe) 등의 장점이 있다. 이러한 특성은 수송기기의 탑재 시스템에 적합하여, 최근 천연가스차량(NGV) 및 연료전지차량(FCV)의 압축가스 저장 탱크로 그 활용도가 더욱 높아지고 있다.

2. 해외 기술개발 현황

2.1 미국 DOE 프로그램

미국은 2001년 발표된 국가에너지정책의 일환으로 수소 및 연료전지 관련 기술의 체계적이고 종합적인 개발을 추진하고 있다. DOE 개발 계획에서는 수소저장 기술이 수소관련 산업을 실용화하는데 가장 중요한 이슈임을 명확히 하고 있으며, 특히 탑재용 수소 저장(on-board hydrogen storage) 기술을 자동차용 연료전지 시스템 실용화의 관건으로 인식하고 있다.

DOE는 수소 저장기술과 연료전지기술 개발을 위한 2015까지의 중장기 개발 계획을 수립하여 추진하고 있는데, DOE의 수소 저장기술 개발 목표는 표 1과 같다. 개발 목표는 탑재 시스템에 중점을 두어 설정되어 있으며, 그 이유로 탑재 시스템이 공간, 중량, 비용 상의 제약으로 인해 기술적으로 더 까다롭기 때문이라고 밝히고 있다. DOE의 개발 목표는 국내 기술 개발의 목표를 설정하는데 좋은 참고가 될 수 있다. 그러나 유의할 점은 DOE의 목표는 저장 방식(기체, 액체, 수소화물 등)에 따라 구분되어 있지 않기 때문에 저장 방식에 따라 특정 항목에 대한 목표 값이 현실적이지 못하다는 점이다. 고압기체 저장 기술의 경우 중량효율 면에서는 타 저장방식에 비해 월등하기 때문에 목표 값이 달성 가능하나, 체적효율의 목표 값은 고압기체저장 방식으로는 이론적으로 불가능한 수치이다. 비용 역시 복합재 압력용기의 원재료 값을 고려할 때 몇 배수 이하의 낮은 목표를 설정하고 있어 현실성이 없다. 이런 점을 고려할 때, 고압기체 수조저장 기술의 국내 개발을 위해서는 우선 타당한 개발 목표 설정을 위한 기초 작업이 필요하다 하겠다.

표 1. DOE Hydrogen Storage Targets

Storage Parameter	Unit	2005	2010	2015
Weight efficiency (usable specific energy)	wt % (kWh/kg)	4.5 (1.5)	6.0 (2.0)	9.0 (3.0)
Volumetric efficiency (usable energy density)	kg H_2/m³ (kWh/L)	36 (1.2)	45 (1.5)	81 (2.7)
Storage system cost	\$/kg H_2	200	133	67
Cycle life (1/4 tank to full)	cycles	500	1,000	1,500
Loss of usable hydrogen	(g/hr)/kg	1	0.1	0.05

2.2 해외 개발 사례

연료전지자동차용 고압기체 수소저장 기술 개발은 350~700bar 급의 초고압 복합재 압력용기의 개발이 주를 이루고 있는데, 미국의 Quantum Technologies, ATP, 캐나다의 Dynetek 등의 개발 실적이 주목할 만하다. 최근의 경향은 차량 탑재용으로 700bar급의 압력용기가 공간과 주행거리의 제약을 극복할 수 있는 해답으로 인정되는 추세이나, 이에 대한 결론은 부피, 비용, 중량, 압축기 비용과 효율, 기반시설에 대한 부담, 공급망 등에 대한 충분한

연구가 뒷받침되어야 할 것으로 보인다.

■ Quantum Technology Inc.

Quantum사는 2002년에 업계 최초로 700bar급 수소용 복합 용기를 선보였는데, 최근의 보고에 따르면 6 wt%(전체 시스템 4.8 wt%)의 중량효율과 31.5 kg/m^{3}의 체적효율을 달성한 것으로 보고하고 있다. 또한 700bar 용기의 설계와 공정 최적화를 통해 30%의 비용 절감을 이루었으며, 45,000회 이상의 피로수명을 기록하였다. 700 bar 용기는 아직까지 파손모드에 대한 이해가 부족한 것으로 알려져 있으며, 이에 대한 추가적인 연구를 통해 구조 최적화가 가능하며, 7.8 wt%까지 달성할 수 있을 것으로 전망하고 있다.

표 2. Quantum 사의 고압 수소 저장용기에 대한 개발 목표 (2001년 11월 Hydrogen Vision Meeting, 미국)

기간	기술	저장시스템 용적(liter)	저장시스템 중량(kg)	중량효율 (wt %)	체적효율 (kg/m^3)
단기목표 (3Kg수소 저장기술)	350bar 압력용기	145	45	6.3	21
	700bar 압력용기	100	50	5.7	30
	수소흡장합금	55	215	1.4	55
	액체수소	90	40	7.0	33
장기목표 (7Kg수소 저장기술)	350bar 압력용기	320	90	7.2	22
	700bar 압력용기	220	100	6.5	32
	Alanate Hydrive	200	222	3.1	35
	Carbon nanotube	~130	~120	5.5	54

350bar급의 차량용 수소저장 용기 개발은 7.5 wt%(전체 시스템 5.7 wt%)를 달성하였으며, 11.3 wt% 의 개념 시현에도 성공하였다고 보고하고 있다. 개발품의 실증 작업에서는 NGV2-2000(modified), EIHP standard 등을 만족시켰다. Quantum의 복합재 압력용기는 Type IV형으로 폴리머 라이너와 이를 보강하는 탄소섬유, 충격방지 돔 및 레귤레이터로 구성된다. 표 2는 Quantum사가 제시하고 있는 고압력 용기에 대한 단기, 장기 개발 목표인데, 국내 개발 시 타당한 목표설정을 위해 참고할 만 하다.

■ ATP Lincoln Composites

ATP사는 1992년 NGV용 Type IV 복합재 압력용기의 생산을 개시하여 10년간 45,000개를 생산하여 그 신뢰성을 인정받았다. 최근에는 FCV용 압력용기 분야에도 진출하여 이미 350bar 용기를 제조하고 있으며, 이는 혼다의 Civic 및 FCX에 장착되고 있다.

ATP사 역시 2002년에 700 bar급의 압력용기를 개발하였다고 발표하였는데, 구체적인 성능에 대해서는 공개되지 않았다. ATP 사의 Type IV 압력용기는 알루미늄 보스와 폴리머 라이너의 연결부에 가스 누출을 방지하기 위해 고안된 기술(미국특허 5,429,845)이 활용되고 있다.

■ Dynetek Industries Ltd.

1991년 창업한 캐나다의 벤쳐 기업인 Dynetek사는 1997년 수소 연료전지 버스에 350 bar 용량의 복합재 압력용기를 2년간 공급하여 10만Km이상의 주행과 20만 이상의 승객을 운송하는 실증 프로그램을 통해 그 내구성을 입증하였다. 이어 Ford사의 Focus를 베이스로 한 연료전지차량을 2004년에 판매할 목표로 개발을 추진 중이다.

최근에는 700bar급의 탑재용 시스템의 개발을 진행 중이며, 이와 함께 사용될 825bar급의 지상 저장 시스템은 이미 개발하였다고 보고하고 있다.

Dynetek의 압력용기는 Type III인데, 수소에 대한 침투성과 누출이 없다는 점, 가장 빠른 충전 속도 등을 장점으로 내세우고 있다. 또한 Dynetek은 설계에 혁신적인 기술을 적용하여 시장의 다른 Type III 실린더에 비해 20% 가벼우며, 다른 Type IV 실린더에 비해 18%까지 가볍다고 주장하고 있다.

■ ATK Thiokol Propulsion

ATK는 차량 탑재용으로 고압 기체 저장방식의 가장 큰 문제점으로 인식되고 있는 부피 문제에 대한 해결 방안으로 Conformable Tank를 개발하고 있다.

이는 기존의 실린더 형에서 탈피하여 탑재 공간의 활용을 더욱 높이기 위한 개념으로, 이론적으로는 주어진 공간에 실린더 형보다 최고 50%까지의 저장 용적 증가를 기대할 수 있다. 내압용기로서 이상적인 구조인 실린더 형을 벗어나 구조 효율 면에서 단점을 갖기 때문에 이에 대한 보완이 더 필요할 것으로 보이지만, 향후 기술 개발의 한 방향으로 주목받고 있다.

2.3 실용화 관련 문제점 및 향후 개발 과제

연료전지자동차용 고압기체수소 저장기술의 실용화 관련 산업적, 기술적 저해요인으로는, 1) 고성능 복합재 용기의 소재(carbon fiber)와 제조방법(filament winding process)의 제약으로 인한 고비용 문제, 2) 고압기체 방식의 낮은 에너지 밀도로 인한 저장시스템의 과도한 부피 문제, 3) 초고압 복합재 용기의 사용 이력 및 파손 데이터 부족, 4) Tubing, Fitting, Check Valves, Regulators, Filter 등을 포함하는 관련 부품 개발의 부재 등을 들 수 있다.

현재의 복합재 압력용기 가격 수준과 DOE 목표의 큰 차이에서도 잘 나타나듯이 비용 문제는 가장 극복하기 힘든 문제로 대두될 것이다. 업계에서는 대량 생산에 의해 DOE 목표 수준까지 비용 절감이 가능할 것으로 기대하고 있으나, 이를 위해서는 섬유, 수지 등 원소재 관련 기술의 획기적인 발전이 요구된다. 또한 중량, 비용의 추가적인 절감을 위해서는 복합재 압력용기의 설계 및 공정 관련 기술에도 많은 발전이 요구되는데, 특히 필라멘트 와인딩 공정의 자동화 및 생산성 향상 기술이 더욱 중요해질 것이다.

낮은 에너지 밀도로 인한 저장 시스템의 과도한 부피 문제는 연료전지자동차 설계개념의 획기적 변화를 통해 해결 방안을 찾을 수 있을 것으로 생각된다. 이에 대한 좋은 예가 GM사의 FCV 컨셉 모델 AUTOnomy와 이를 베이스로 한 시제차 Hy-wire를 들 수 있다. 이 차량은 연료전지라는 새로운 구동원을 사용하였을 때, 자동차는 어떤 상태여야 하는지에 대한 진보적 개념을 보여주고 있으며, 이러한 주요 구성품의 배치개념은 공간문제를 극복하여 고압 수소 저장방식의 실용화 가능성을 높여줄 것으로 기대된다.

초고압 용기의 사용 이력 및 파손 관련 데이터 부족 문제는 더 많은 필드시험을 통해 극복할 수도 있을 것이나, 이에 대한 적극적인 해결 방법으로 SMART TANK 개념의 도입을 생각할 수 있다. 이는 센서 삽입 기술을 응용하여 복합재 압력용기의 건전성을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 기술로서 수소 저장용 초고압 용기에 대한 사용

이력의 데이터 축적, 신뢰성 향상, 이에 따른 안전 계수 저감과 중량 및 비용 절감 등으로 이어지는 효과를 기대할 수 있다.

3. 국내 연구개발 환경 분석

연료전지자동차용 복합재 압력용기의 성공적인 국내 개발을 위해서는 부족한 요소 기술을 개발하고, 개발에 필요한 인프라를 구축하며 이를 체계화 해나가는 노력이 필요할 것이다. 이를 위해서는 복합재 압력용기 기술의 특성을 정확히 이해하는 것이 도움이 된다.

그림 1은 복합재 압력용기 개발에 필요한 핵심요소기술과 그 체계를 나타낸 것이다. 요소기술별로 국내 현황을 살펴보면, 구조 설계/해석 기술과 성형 제작 기술은 90년 초반부터 연구계와 학계를 중심으로 꾸준한 연구개발이 이루어져 선진국에 뒤지지 않는 기술력을 보유하고 있다.

반면 실증 및 상용화를 위한 시험평가 기술과 인증 기술은 그 기반이 매우 취약하다.

복합재 압력용기는 실증과 인증을 위해 많은 시험이 요구되는데, 국내에는 이를 위한 기본적인 시험설비조차 갖추어져 있지 않다.

인증 부분에서도, Type III 이상의 고성능 용기에 대해서는 아직 국내에서 인증된 사례가 없고, 그 기준도 미비한 실정이다. 국내에서 차량용 복합재 압력용기를 개발하고 실용화하기 위해서는 이 부분에 대한 투자와 노력이 집중되어야 할 것으로 판단된다.

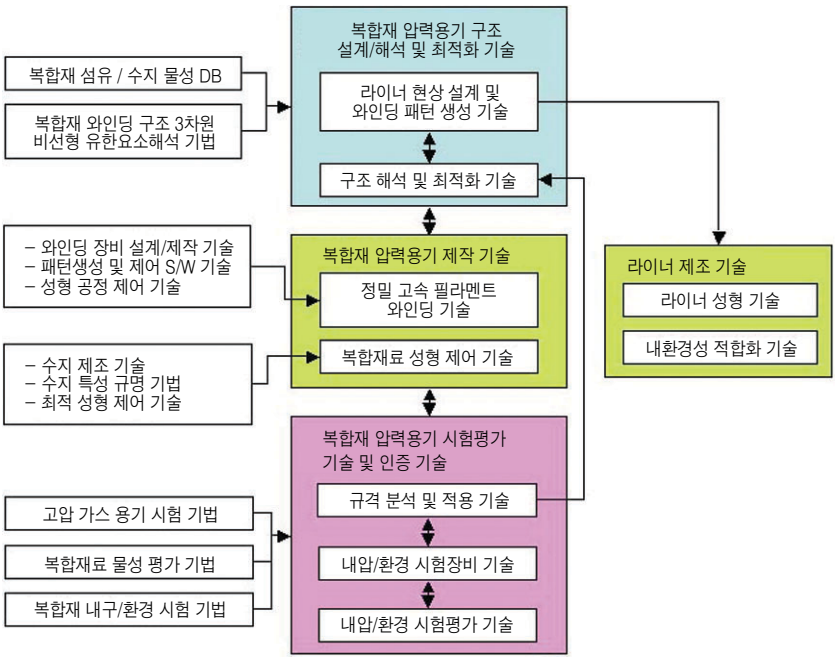

그림 1. 복합재 압력용기 개발을 위한 핵심요소기술 및 기술체계도

4. 국내 개발 목표 설정을 위한 고찰

국내에서는 이제 막 수소 저장용 복합재 압력용기의 개발이 시작되는 시점이다. 이 시점에서 타당한 개발 목표의 설정은 매우 중요하다. 이에 대한 기초 작업으로 복합재 압력용기의 Type별 특성을 비교 검토하고, 연료전지자동차용 복합 용기에 대한 설계/해석을 통해 기준 설계사양을 도출하여, 현 수준의 기술로 달성 가능한 목표 사양을 가늠해보는 것은 의미 있는 작업이라 할 수 있다.

4.1 연료전지자동차용 복합재 압력용기의 TYPE 비교

수소저장용 복합재 압력용기의 개발 목표를 설정하는데 있어 중요한 이슈 중 하나가 바로 용기의 Type이다.

타당한 개발 목표의 설정을 위해서는 단순 비교를 넘어 심도 있는 고찰이 필요할 것이다. 표 3에 type 3와 type 4의 장단점을 비교하였는데, 일반적으로 type 3는 신뢰성 측면에서 장점이 있고, type 4는 가격과 중량 면에서 더 유리할 것으로 이해되고 있다. 개발자의 입장에서는 강점만을 더욱 강조하는 경향이 있으나, 보다 안정적인 개발과 실용화를 생각한다면, 각 type의 약점에 대한 검토가 더 중요할 수 있다. FCV용 수소저장 용기로 적용할 경우, type 4는 leakage 문제와 폴리머 라이너의 수소에 대한 침투성, 온도에 대한 취약성 등이 기술적으로 상당히 까다로운 문제가 될 것이다. 반면 type 3는 기술적 어려움은 없으나, 대용량의 용기에서는 공정, 가격 면에서 불리한 점이 지적되고 있다. 그러나 현재 실용화되어 있는 CNG용 압력용기에서는 type 3와 type 4는 가격, 중량 면에서는 대략 비슷한 것이 현실이다.

이런 사실들을 종합적으로 고려해 볼 때, 보다 안정적인 개발과 실용화를 추구한다면 당장은 type 3가 더 유리할 것이며, 앞으로의 기술 발전에 역점을 둔다면 type 4가 관심의 대상이 될 것이다.

표 3. 고성능 복합재 압력용기의 type 별 장단점 비교

	Type III	Type IV
Advantage	– Proven Technology – Seamless leak proof design – Impermeable – More damage resistant – Non flammable	– Less expensive – Lighter weight – Longer fatigue life – Corrosion resistant
Disadvantage	– More expensive in large size – Specialized fabrication process – Lower fatigue life	– Prone to leakage – Permeable to gases – Low temperature vulnerability – Less damage resistant – No bond between composite/liner
* Finished weight and cost of total cylinder are approximately the same for both types.		

4.2 설계/해석을 통한 기준 설계사양(Baseline Design) 도출

현재 해외에서 개발되고 있는 수소용 복합재 용기는 200~250bar 급 CNG 용기의 사용압을 350bar로 높이는데서 출발하여, 체적효율과 저장량의 개선을 위해 700bar까지의 초고압 용기 개발로 이어지고 있다. 아직 국내에서

는 상대적으로 저압인 CNG 용기에 대해서도 실용화된 사례가 없기 때문에 이에 대한 기본 설계/해석을 같이 수행하여 비교한다. 복합재 압력용기의 설계/해석에는 Netting Analysis, 적층이론, FEM 등이 사용된다. Netting Analysis와 적층이론은 초기 사이징에 유용하게 사용될 수 있지만, 비선형 거동을 고려할 수 없으며, 특히 취약부위인 돔 부분에 대한 예측이 불가능하기 때문에 상세한 해석과 최종 설계의 결정에는 반드시 FEM에 의한 해석이 필요하게 된다. 복합재 압력용기에 대한 FEM 해석은 고난도의 해석기법이 요구된다. 복합재 압력용기는 돔 부분에서 곡률, 섬유방향, 와인딩 두께 등이 연속적으로 변하기 때문에 이에 대한 모델링이 매우 까다로우며, 내압 하중하의 거동은 재료 비선형과 기하학적 비선형성을 모두 갖기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다.

과거에는 복합재 압력용기에 대한 모델링 시 단순한 축대칭 요소나 셸 요소를 사용하였다. 그러나 이러한 방법은 실제 구조 거동을 정확히 예측하는 데는 한계가 있다. 취약부인 실린더와 돔의 접합부인 junction부에서의 정확한 거동 예측을 위해 최근에는 3차원요소를 사용하여 보다 실제에 가까운 해석을 하고 있다. 표 4와 그림 2는 기준 설계 사양 도출을 위한 설계/해석의 한 예를 보여주고 있는데, 표 4는 350bar H_2 용기에 대한 Netting 해석과 적층이론을 이용한 기본 설계 결과이다. 이를 기초로 3차원 비선형 FE해석을 수행한 결과는 그림 2와 같다.

표 4. 350bar 수소 저장용 복합재 압력용기에 대한 기본 설계 및 해석
(T-700 Carbon, SF=2.35)

Design Paraments

구경비에 따른 와인딩 각 계산

라이너 외경	Dc(mm)	381
보스 외경	Db(mm)	50.8
구경비	ρ	0.133
와인딩각	ν (degree)	7.66

목표 파일압 입력

내압	P(Mpa)	82.3

Netting Analysis

각 종의 목표 웅력값이 Netting Analysis

hoop층 웅력	σ_h (MPa)	2000
helical층 웅력	σ_a (MPa)	1400
hoop층 두께	t_h (mm)	7.77
helical층 두께	t_a (mm)	5.70
total 두께	t (mm)	13.47

Design Paraments

각 층의 두께 입력

total 두께	t (mm)	12.00
hoop층 두께	t4 (mm)	7.20
helical층 두께	t0 (mm)	4.80
라이너 두께		4.06

Resultant Force 계산

라이너하중	NH-iner(N/mm)	869.7
	NA-iner(N/mm)	686.8
Composite 하중	NH-iner(N/mm)	15135.0
	NA-iner(N/mm)	7315.5

CLT에 의한 웅력해석 결과

hoop층 웅력	σ_g (MPa)	1992
heltical층 웅력	σ_e (MPa)	1379

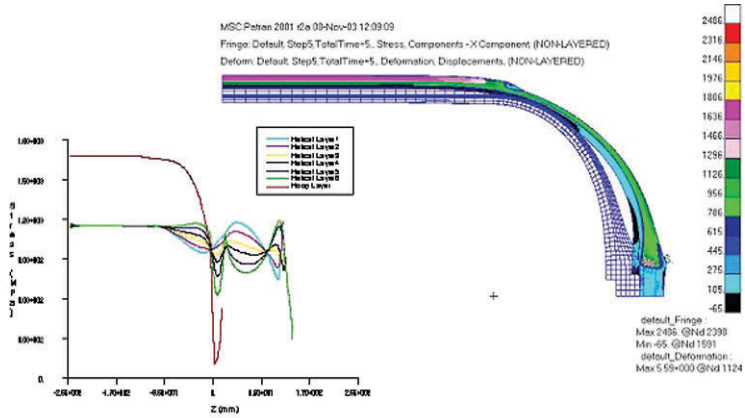

그림 2. 수소 저장용 복합재 압력용기에 대한 3차원 비선형 유한요소해석

4.3 연료전지자동차용 복합재 압력용기의 목표 사양 분석

앞절에서 설명된 설계/해석 방법에 따라, CNG용 압력용기 200~250bar에 대한 설계와 FCV용 압력용기 350~700bar에 대한 설계/해석을 수행한 결과를 표 5에 요약하였다. 표 6에서는 기존 복합재 압력용기 제작사들의 사양을 기준 설계사양과 함께 비교하였다. 수소를 저장할 때를 가정하여 계산된 중량효율을 살펴보면 200bar급의 경우 3.2~4.2 wt % 구간에 있으며, 250bar급은 3.7~4.6 wt % 구간에, 350bar급은 3.6~5.2 wt% 구간이다. 특기할 만한 사항은 CNG용으로 이미 상용화된 200~250bar급의 사양을 비교해보면, 일반적인 인식과는 달리, type 4 중량효율이 type 3에 비해 높지 않다는 것이다. 본 연구에서 제시된 기준 설계사양을 기타 제작사들의 사양과 비교하면, 기준 설계사양이 성능 면에서 중간정도의 구간에 위치한다. 이는 실질적인 설계/해석에 기초한 데이터로서 향후 개발할 수소용 복합재 압력용기의 목표 사양 설정에 참고로 활용될 수 있을 것이다.

표 5. 72L 복합재 압력용기의 기준 설계사양(T-700 Carbon)

항 목	단 위	200 bar	250 bar	350 bar	700 bar
용기 중량	kg	27.3	29.6	35.1	53.2
용기 체적	L	82.8	84.4	88.1	100.3
수소 저장량	kg	1.05	1.27	1.70	2.80
중 량 효 율	wt%	3.9	4.3	4.8	5.3
체 적 효 율	kg/㎥	12.7	15.0	19.3	27.9

표 6. 기준 설계사양과 기존 CNG용 및 H_2용 복합재 압력용기의 사양 비교

사 용 압	Model	내용적(L)	중량(kg)	비중량(kg/L)	H_2(kg)	중량효율(wt %)
Baseline Design (Type III)						
200bar		72	27.3	0.379	1.05	3.9
250bar		72	29.6	0.411	1.27	4.3
350bar H_2		72	35.1	0.487	1.7	4.8
Dynetek (Type III)						
200bar	V70	70	29.0	0.414	1.02	3.5
250bar	V72	70	31.0	0.443	1.23	4.0
350bar H_2	V74	74	35.4	0.478	1.75	4.9
Luxfer (Type III)						
207bar	A730C	80	28.0	0.350	1.17	4.2
248bar	A836C	80	30.5	0.381	1.41	4.6
345bar H_2	A801A	80	36.2	0.453	1.89	5.2
SCI (Type III)						
207bar	ALT747	74	31.2	0.422	1.08	3.5
248bar	ALT823F	74	35.4	0.478	1.31	3.7
345bar H_2	ALT898	92	59.9	0.651	2.17	3.6
ATP (Type IV)						
207bar		72	33.1	0.460	1.05	3.2
248bar		72	31.3	0.435	1.27	4.1

5. 결 론

이상의 국내외 동향 및 환경 분석, 그리고 기준 설계사양에 대한 검토 등을 토대로 앞으로 국내에서 개발될 고압기체 수소저장 기술의 개발 로드맵을 생각해볼 수 있을 것이다.

이 분야의 선도국에서는 이미 700bar의 초고압 용기의 초기 개발에 성공하고 실증 단계를 진행하고 있으나, 국내 개발은 이제 시작이므로 1단계로는 350bar급의 개념 시연(concept demonstration)부터 시작하는 것이 타당하다고 본다. 초기 단계의 개발에 필수적인 시험설비 등의 인프라 구축도 함께 추진되어야 할 것이다. 1단계에서 개발된 350bar 용기는 이미 개발되어있는 국내의 FCV 시제차량에 장착하여 실증단계를 거치면서 문제점을 도출하고 보완해나가는 작업에 사용될 수 있을 것이다.

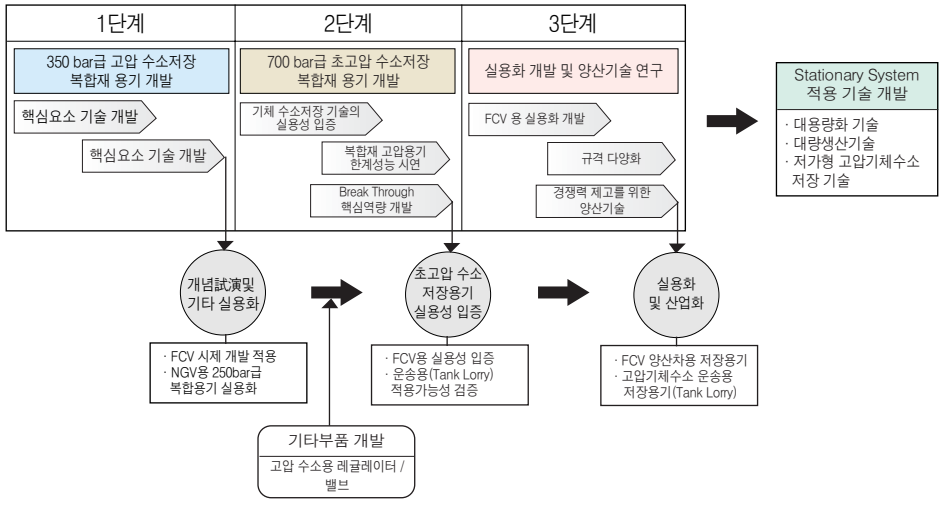

그림 3. 연료전지자동차용 고압기체 수소저장 기술 개발 로드맵

또한 이 기술은 이미 상용화 되어 있는 NGV용 250bar급 복합 용기의 국산화로 연결될 수 있을 것으로 기대된다. 2단계에서는 실용성 있는 탑재용 수소 저장 시스템으로 700bar급의 초고압 복합용기 개발이 필요할 것이며, 이에 대한 실증 및 인증 작업을 통해 실용화 및 양산으로 이어질 것으로 기대해 본다.

⚜ 참고 문헌

[1] Proceeding of Workshop on Fiber Placement Manufacturing for Composite Pressure Vessels, Feb. 2001.

[2] Statement of Objectives: Grand Challenge for Basic and Applied Research in Hydrogen Storage, Jul. 2003.

[3] Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructures Technologies Program Multi-Year Research, Development

and Demonstration Plan,
[4] Proceeding of Hydrogen Vision and Roadmap Workshop, Nov. 2001, Apr. 2002
[5] Proceeding of Workshop on Compressed and Liquefied Hydrogen Storage, Oct. 2002.
[6] Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructures Technologies Program 2002 Annual Progress Report, 2003.

박 지 상

· 한국기계연구원 공정연구부 선임연구원
· 관심분야 : – 수소 및 신재생 에너지 (풍력발전, 수소 저장)
– 복합재 압력용기, 풍력발전기용 복합재 블레이드
– 복합재 구조물 설계/해석 및 시험 평가
· E-mail : jspark@kmail.kimm.re.kr

김 태 욱

· 한국기계연구원 공정연구부 책임연구원
· 관심분야 : 열경화성 복합재 제조, 열가소성 복합재료 성형모사, 고분자 기지 나노 복합재료
· E-mail : ktw1436@kmail.kimm.re.kr

정 재 한

· (주) 이노컴
· 관심분야 : 복합재료 제조
· E-mail : jhchung@inocom21.com