

수소전기차용 수소저장용기 기술동향

| 저자 | 이백행 전기수소차 PD / KEIT
이호길 센터장 / 한국자동차연구원

SUMMARY

/ 수소저장용기는 연료전지 스택과 더불어 수소전기차의 핵심 요소부품

- 수소전기차의 연료인 수소를 저장하고, 연료전지 스택으로 공급하는 역할을 담당하는 수소저장시스템은 수소저장용기, 고압밸브 및 레귤레이터 등으로 구성되며, 수소전기차 부품 중 연료전지 스택 다음으로 가격비중이 높은 중요 부품
- 우리 정부는 2040년까지 620만대의 수소전기차 보급을 목표로 승용, 택시, 버스, 트럭 등 다양한 차종을 공급할 계획이며, 이에 적합한 형태의 경쟁력 있는 수소저장용기의 필요성 대두

/ 수소전기차의 상품성 및 시장경쟁력 제고를 위한 수소저장용기의 고도화 절실

- 내연기관차의 플랫폼을 공통으로 활용하여 수소전기차를 제작하는 경우에는 수소저장용기를 장착을 위해 확보되어야 하는 최소 공간의 필요 등으로 인해 차량의 상품성 및 가격경쟁력 개선에 한계가 존재하며, 수소전기차의 시장경쟁력 확보가 곤란한 현실
- 수소전기차, 특히 승용차에서 넥쏘 등과 같이 단독 전용플랫폼을 유지할 경우 다품종 생산에 적합하지 못하고, 플랫폼 개발비용 등으로 인해 시장경쟁력 확보에 어려움이 예상되어, 전기차 등과 공용으로 활용 가능한 차량플랫폼 및 이에 적합한 저장용기의 고도화 절실

/ 시사점 및 정책제언

- 수소전기차 플랫폼을 전기차의 플랫폼과 공용화할 수 있다면 규모의 경제 측면에서 수소전기차의 가격 경쟁력 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 위해 전기차 배터리 탑재공간에 수소저장 용기를 탑재할 수 있는 기술의 개발 등 다양한 대안의 검토가 필요한 시점

1. 수소저장용기의 개요

// 압축수소 저장용기

- 수소전기차는 수소를 연료로 이용하여 전기를 생산하고 생산된 전기로 모터를 구동시켜 운행되는 자동차를 말하며, 수소저장시스템은 수소전기차의 연료인 수소를 충전·저장·공급하는 시스템을 지칭
- 수소저장용기는 기체상태의 수소를 350bar 또는 700bar로 압축하여 저장하는 고압수소저장용기(CHS, Compressed Hydrogen Storage)와 영하 253℃로 수소를 냉각하여 액화상태로 저장하는 액화수소저장용기(LHS, Liquid Hydrogen Storage)로 구분
 - 수소는 대기 중에 기체 상태로 존재하며, 지구상의 어떤 원소보다 가볍고 밀도가 낮아 동일 체적에서 저장밀도가 비교적 낮음
 - 기체상태의 수소저장 밀도를 높이기 위한 방법으로 350bar 또는 700bar로 압축하는 방법과 액화(-253℃)하여 저장밀도를 800배가량 높이는 방법이 있음

[표 1] 수소저장용기의 종류와 특징

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
구분				
재질	금속	금속	알루미늄합금	복합소재
Wrap	-	몸통부분	전체	전체
중량	▲	△	◎	◎
가격	◎	○	▲	△

◎:가장우위, ○:우위, △보통, ▲:열세

- 고압수소저장용기 종류 중 경제성이 높은 Type 1과 Type 2 용기의 경우 저장압력 증가 시 금속소재 두께 증가로 인한 중량 증가 문제와 금속이 가지고 있는 수소취성 문제 등으로 인해 수소전기차에 적용 곤란
 - Type 1과 Type2 용기는 저장압력이 상대적으로 낮은(200bar급) 수소운송용 튜브스키드와 수소충전소 등에 사용되고 있음
- 현재 수소전기차에는 경량화와 잦은 충·방전이 가능한 Type 3과 Type 4용기가 적용되고 있음

// 액화수소 저장용기

→ 영하 253°C로 수소를 냉각하여 액화상태로 저장하는 액화수소저장용기(LHS)는 동일한 체적에서 고압가스저장보다 상대적으로 많은 양의 수소를 저장할 수 있음

- 액체수소의 체적밀도는 0.070kg/L으로, 700기압의 기체수소(0.033kg/L)대비 체적효율은 높으나 하루에 전체 저장용량의 3~5%정도의 BOG(Boil Off Gas)가 발생되고 액화하는데 필요한 에너지와 보냉을 유지해야 하는 기술이 필요

[표 2] 수소저장 능력 비교

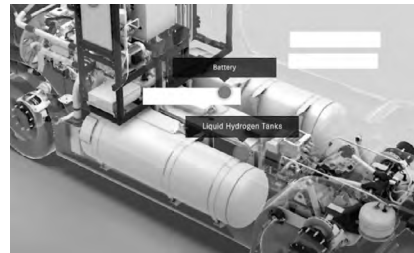
저장 기술	외관	체적밀도	압력
고압수소저장용기		0.033kg/L	700bar
액화수소저장용기		0.070kg/L	1bar

→ 유럽, 미국의 경우 1회 충전 시 1,000km이상 주행이 가능한 수소상용차 개발을 위해 고압수소저장용기 단독 또는 액화수소저장용기를 단독 또는 하이브리드로 설치하는 기술개발을 연구 중에 있음

- 2020년 9월 다임러는 액화수소저장용기 2개(40kg H₂ x 2)를 탑재하는 '메르세데스 벤츠 GenH2' 컨셉 트럭을 공개 하였으며 '23년에 실증 계획



수소트럭 컨셉



액화 수소저장용기

[그림 1] 메르세데스 벤츠 GenH2 수소트럭

2. 수소저장용기 시장 및 기술 동향

// 국내외 시장동향

- ▶ 2020년 국내 수소전기차 보급대수는 10,100대로 수소저장용기 시장은 약 700억원으로 전망됨
- ▶ ‘수소경제활성화로드맵’ 자료에 근거하여, 2022년 수소저장용기의 시장을 예측해보면 약 1,700억원으로 전망되며 2025년 약 3,000억원, 2030년에는 약 7,000억원으로 증가될 것으로 전망됨

[표 3] 국내 수소저장장치의 시장 전망

구분	2020	2022	2025	2030
A. 수소전기차(대/년)	10,100	25,000	60,000	160,000
B. 수소저장시스템 가격(만원)	1,190	1,190	850	680
C. 수소저장시스템 시장(억원) (= A x B / 10,000)	1,202	2,975	5,100	10,880
C-1. 수소저장용기	697	1,726	2,958	7,181

- 출처 : 수소경제활성화로드맵(2019.1), 미래자동차사업발전전략(2019.10)
- 수소차 2세대 출시예정이 2023년으로 정부는 약 5천만원대 수준으로 전망하고 있어 현재의 수소저장장치 가격비중인 17%로 산출하였으며 2030년까지는 4천만원대까지 저감하는 기준으로 비율 적용
- Hydrogen Storage Cost Analysis(2019)
- 수소저장시스템 가격비중(연간 1만대 생산시)

수소저장장치 연간 10,000개 생산시	수소저장장치 연간 100,000개 생산시
<ul style="list-style-type: none"> 수소저장시스템 가격비중 - 수소저장용기 : 58%, 총방전밸브 : 7%, 레귤레이터 : 11%, 기타 24% 	<ul style="list-style-type: none"> 수소저장시스템 가격비중 - 수소저장용기 : 66%, 총방전밸브 : 7%, 레귤레이터 : 10%, 기타 17%

- ▶ 미국 시장조사기관인 Markets and Markets(2018)에 의하면 2025년 전세계 수소전기차 시장은 약 269,000대로 전망하고 있으며 2018년부터 2025년까지 연평균 65.89%로 성장할 것이라고 발표하였으며, 이러한 결과를 토대로 추정한 2022년 수소저장용기 시장은 약 4,800억원, 2025년은 1.5조원으로 전망됨
- 특히, 수소저장용기의 가격비중이 높아져 상대적으로 시장성장은 더 큰 것으로 나타남

[표 4] 전세계 수소저장장치의 시장 전망

구분	2022	2025
A. 수소전기차(대/년)	69,941	268,786
B. 수소저장시스템 가격(만원)	1,190	850
C. 수소저장시스템 시장(억원) (= A × B / 10,000)	8,323	22,847
C-1. 수소저장용기	4,827	15,079

// 국내외 기술동향

- ▶ ‘Hexagon Lincoln社’ 2006년에 세계 최대 길이(약 12m)의 CNG(천연가스) 운송용 Type4 복합재 고압용기(제품명: TITAN, 사용압력 250bar) 제품 개발 및 생산을 시작하였으며, 이 고압용기에도 가장 일반적인 비스페놀-A 타입의 에폭시 주재에 아민계 경화제와 기능성 첨가제를 혼합한 에폭시 수지 시스템을 사용하고 있음
- ▶ ‘Luxfer社’ 현대차의 엑시언트 수소트럭의 수소저장용기 초도 수출 물량을 공급한 경험이 있으며, Type3를 주로 생산함
- ▶ ‘Faurecia社’ 2020년 6월 현대차 스위스 수출 트럭에 수소저장용기(약 10,000개) 공급계약을 체결함

[표 5] 차량용 수소저장용기 제작 업체

부품업체	제품사진	현황	사양
국내	일진복합소재		제품화 • TYPE 4 • Volume : 50L • Weight/Tank : 36.2kg
해외	Faurecia(프랑스)		제품화 • TYPE 4 • Volume : 69L • H2 Capacity : 2.75kg
	HEXAGON(미국)		제품화 • TYPE 4 • Volume : 312L • H2 Capacity : 7.5kg
	Luxfer(영국)		제품화 • TYPE 3 (350bar) • Volume : 318L • H2 Capacity : 7.7kg
	QUANTUM(미국)		제품화 • TYPE 4 • Volume : 120L • H2 Capacity : 4.8kg
	TORAY(일본)		제품화 • TYPE 4 • Volume : 62L • H2 Capacity : 5.0kg

[표 6] 현재 출시된 승용 수소전기차 및 수소저장용기

현대차	토요타	혼다	메르세데스-벤츠
			
넥쏘	미라이	클라리티	GLC F-Cell
			
Type 4	Type 4	Type 3	Type 4
<ul style="list-style-type: none"> 수소저장량:6.33kg 1충전거리:612km/kg 	<ul style="list-style-type: none"> 수소저장량:4.73kg 1충전거리:502km/kg 	<ul style="list-style-type: none"> 수소저장량:5.45kg 1충전거리:579km/kg 	<ul style="list-style-type: none"> 수소저장량:4.4kg 1충전거리:402km/kg

[표 7] 기체수소 저장기술 수준의 국내외 비교

	항목	2018(국내)	2018(해외)	비교
산업용 (>200기압)	저장밀도(kg/L)	0.02	0.02	국산/해외 기술 수준 대등
	저장시스템 가격	60만원/kg	60만원/kg	
수소충전소용 (400~500기압)	저장밀도(kg/L)	0.04	0.05	국내 400bar 해외 500bar
	저장시스템 가격	125만원/kg	100만원/kg	
수소충전소용 (1,000기압)	저장밀도(kg/L)	0.08	0.09	국내 Type1 해외 Type2
	저장시스템 가격	N.A	150만원/kg	
수소전기차용 (700기압)	저장밀도(kg/L)	0.033	0.030	국내 Type 4 해외 Type 3, 4
	저장시스템 가격	150만원/kg	N.A	

3. 비정형 수소저장용기 기술동향

// 개요

- ▶ 수소전기차용 고압수소용기는 700bar의 저장압력에 대응하며, 이러한 이유로 용기의 용기길이(L) 대비 지름(D)의 비율, 즉 세장비(L/D) 기준으로 수소전기차 용기가 약 1.5~3 사이에서 제작 되고 있음
 - 수소전기차의 저장용기 길이는 차량외관 및 국토부 고시에 의해 차량에 탑재시 법적 기준을 준수하여야 하며 이로 인해 일정 수준으로 고정되어 있음
- ▶ 비정형 수소저장용기는 700bar의 저장압력에 대응 가능하며, 세장비를 기존의 수소저장용기 대비 현저히 늘려 차량플랫폼에 따른 저장용기 장착의 제약조건을 극복하고 적용이 용이한 형태의 고세장비 및 곡관형 수소저장용기를 말함

[표 8] 국내 수소전기차 수소저장용기의 세장비

	사용압력(bar)	직경(mm)	길이(mm)	무게(kg)	체적(L)	세장비
투싼 ix HT700-104F	700	539	900	84	104	1.67
넥쏘 HT700-052J	700	363	870	37	52.2	2.39

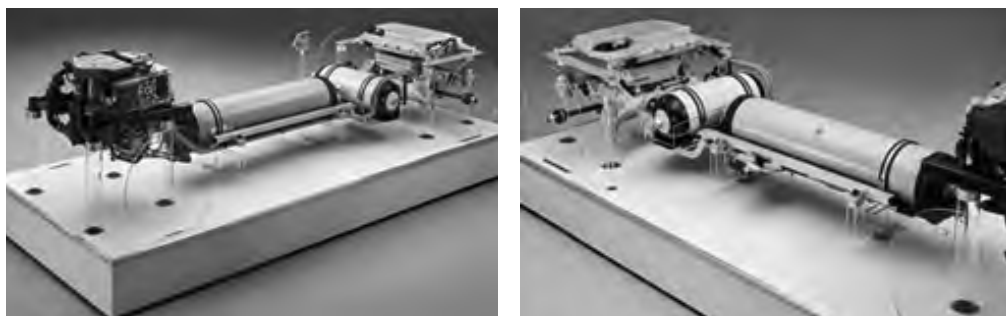
// 플랫폼 공용화와 수소저장용기

- ▶ 수소전기차는 일정한 형상을 가지는 수소저장용기를 여러 개 장착함으로써 전용플랫폼이 필요하며, 세단, SUV, CUV 등의 새로운 차체에 적용할 때마다 전용플랫폼 개발비용이 필요
 - 현재 수소전기차는 세단(토요타, 혼다), SUV(현대, 메르세데스-벤츠)으로 출시
 - 메르세데스-벤츠의 GLC F-CELL을 제외한 모든 수소전기차는 전용플랫폼으로 개발됨
- ▶ 현재 출시된 수소전기차 중 메르세데스-벤츠의 GLC F-CELL은 전기차 플랫폼을 공용으로 사용하여 투자비를 절감함



[그림 2] 전기차 플랫폼을 공용으로 적용한 메르세데스-벤츠의 수소전기차

- ▶ BMW가 SUV X5 적용 예정인 전기차 플랫폼 공용 수소전기차 파워트레인 공개
 - 메르세데스-벤츠와 유사한 형태의 플랫폼 구조 적용, 크기가 다른 2개의 수소저장용기 적용



[그림 3] BMW X5 수소전기차에 적용 예정인 수소저장용기

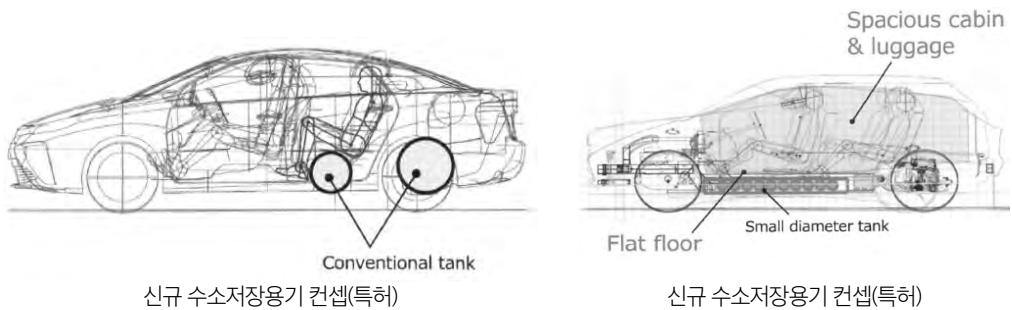
- BMW는 BRYSON 연구 프로젝트를 통해 새로운 유형의 수소저장탱크를 개발하여 전기자동차에 비해 경쟁력을 향상시키는 것을 목표로 수행 중



[그림 4] BMW의 비정형 수소용기 개발프로젝트 컨셉

④ 일본 토요타의 경우 2014년에 출시된 미라이의 수소저장장치에 의해 뒷자석 공간이 협소하다는 소비자의 요구를 만족시키기 위해 미라이에 처음으로 비정형 수소저장장치(Small diameter Tank)를 적용한 컨셉을 '20년 1월 발표함

- 고세장비의 Type 4 탱크를 여러개 배열하고 각 탱크는 매니폴드로 연결한 타입으로, 가격 저감과 차량공간의 활용을 극대화할 수 있는 효과가 가능한 것으로 발표함




[그림 5] 토요타 미라이의 비정형용기 적용 컨셉

④ AUDI/VW는 수소전기차 보급 활성화를 위해서는 BEV 플랫폼 공유의 필요성을 인식하고 장기적으로 전기차와의 플랫폼 공유를 통해 수소전기차 보급이 증대될 것으로 전망하고 있음

④ LINAMAR社 비정형 (곡관형) 수소저장용기 및 모듈

- 캐나다 LINAMAR社에서 브레이딩 공정과 탄소섬유를 적용한 700bar Type4 비정형 (곡관형) 수소저장용기 및 모듈 개발
- 픽업트럭에 비정형 용기를 차량에 적용하면 적재함의 적재량이 증대되고, 차량의 주행거리가 증대 될 것으로 전망
- 용기의 대량 생산으로 인해 비용저감 및 품질이 향상될 것으로 전망
- 차세대 수소탱크 곡관형 타입 보호셀 관련 개발 진행 중



LINAMAR
Proud to Perform

VOLUTE



A technology start-up partnership for Carbon Fiber Hydrogen Fuel Cell Vehicle storage tank solutions.

Next Generation Hydrogen Storage Tank

- Low profile continuous tank shape
- Lower-cost system
- Seamless design
- Continuous manufacturing
- Industry standard materials

Standard Design Vs. Volute Tanks

- 25% more space efficient than standard cylinders
- Smaller profile means tank can fit more efficiently in vehicle in a variety of spaces
- More surface area (more chambers) makes thermal management easier – precooling requirement reduced or eliminated and faster fill
- Less carbon fiber usage

[그림 6] LINAMAR社의 비정형(곡관형) 용기

4. 수소저장용기 생산기술

필라멘트 와인딩 (Filament Winding)

- ➔ 수소전기차에는 고압의 수소저장용기가 사용되고 있으며, 현재 고압저장용기의 탄소섬유는 필라멘트 와인딩 기술을 적용하여 제조하고 있음

 - 수소전기차 대량생산시 필라멘트 와인딩 용기제작 방식으로는 대량생산이 어렵고 과도한 외산장비투자가 필요한 단점이 있음
- ➔ 수지가 함유된 섬유를 원통(구)형상의 회전대칭형 심봉(mandrel)에 돌려 감은 후 경화시켜 회전대칭인 구조물을 제조하거나 금형을 빼내어 성형품을 얻는 복합재 성형공법을 말함

 - 보강섬유를 금형에 돌려 감기 직전에 필라멘트가 수지조를 통과하면서 함침이 되는 습식 와인딩 공법과 토우프리프레그 (Tow Prepreg)*를 사용하는 건식 와인딩 공법으로 구분
 - * 한가닥의 탄소섬유, 유리섬유, 아라미드섬유와 같은 섬유 강화제에 일정한 비율의 에폭시 수지, 폴리에스테르 수지와 같은 합성수지가 미리 함침되어 있는 형태의 탄소섬유복합소재용 중간재를 의미하며 시트 형태의 프리프레그를 필요한 부분에 원하는 섬유 방향으로 원하는 만큼 재단하여 사용할 수 있다는 장점을 가짐

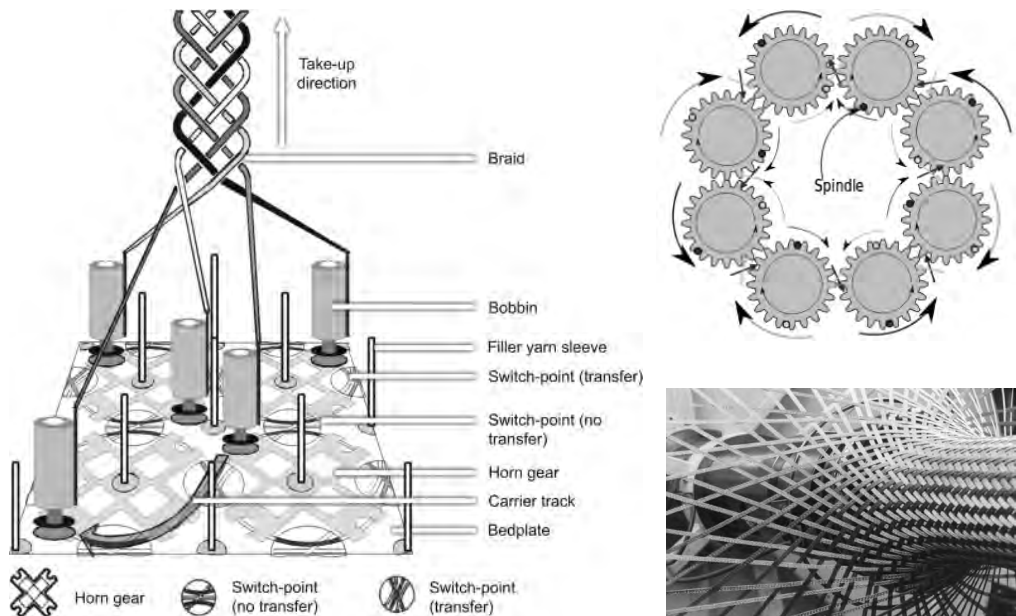


[그림 7] 습식필라멘트 와인딩 개략도 및 토우프리프레그

- 경량의 고강도 제품을 제작하기 위해서는 섬유를 정교하게 배치하여야 하며 이를 위해서는 4축 이상의 동시 제어가 가능한 와인딩 기계와 함께 이를 구동하기 위한 와인딩 궤적을 생성하여야 함
- 와인딩 궤적은 섬유가 맨드릴 위에 감겨질 때 미끄러짐 현상이나 섬유와 맨드릴이 분리되는 브릿지 현상 등이 발생하지 않아야 하고, 맨드릴 표면을 균일하게 완전히 덮으면서도 연속적으로 이어지도록 생성되어야 함

// 브레이딩(Braiding)

- ④ 세 가닥(최근에는 수십 가닥) 이상의 와이어(실, 철사, 탄소섬유 등)를 교차시켜 로프, 보강호스 등 다양한 소재를 만드는 방법으로 대량생산과 다양한 형상 및 곡률에 대한 유연 생산이 가능
 - 국내 브레이딩 기술은 해당 장비를 보유한 곳에서만 개발이 가능하고, 이로 인해 다양한 수소저장용기 관련 기업이 활용할 수 있는 공공용 고속 브레이딩 장치 기술 개발이 정부지원으로 진행되고 있음
 - 아직 700기압 수소저장용기를 제조할 수 있는 브레이딩 장치는 수입제품에 의존하고 있으며, 국산화 기술개발을 통해 수소용기 관련 중소중견기업 지원이 필요



[그림 8] 브레이딩 장비



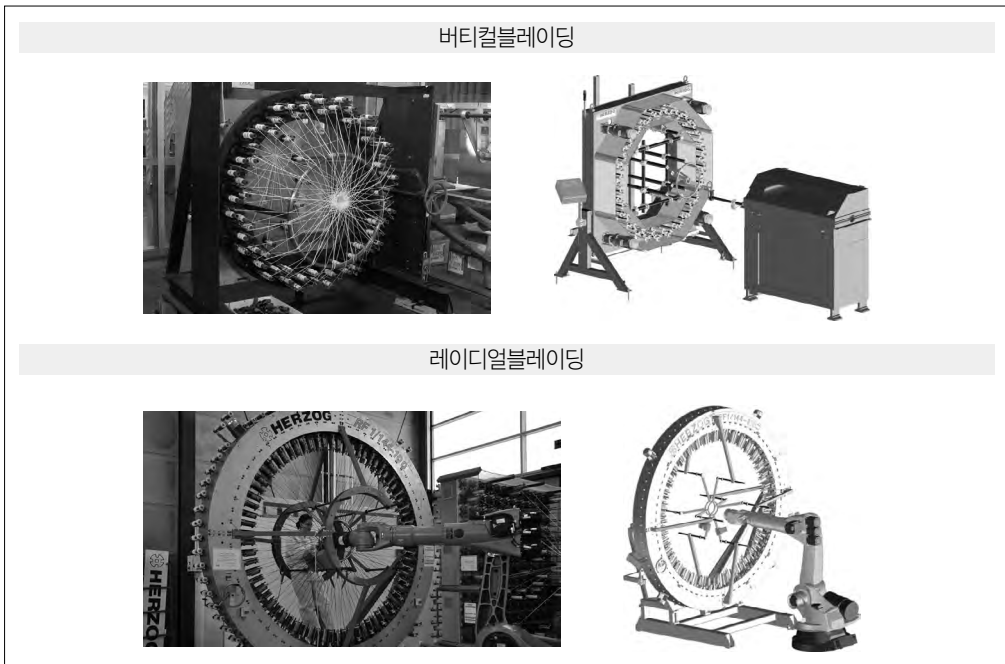
[그림 9] (좌)블레이딩 방식에 의한 LINAMAR社의 수소용기
(우) 블레이딩 방식에 의한 Other lab. LLC社의 수소튜브

① 버티컬 블레이딩(Vertical Braiding)

- 보빈 캐리어가 장비와 수직방향으로 장착되어 프리폼 제조를 위한 섬유들이 장비의 전면으로 모아지면서 브레이딩 되는 구조로서 섬유간 마찰 및 섬유 원복을 위한 거리가 길어져서 섬유의 손상이 많이 발생하는 단점을 가짐

② 레이디얼 블레이딩(Radial Braiding)

- 보빈 캐리어를 브레이딩 장비의 원주방향에 장착하여 장비 프레임의 중심부에서 프리폼을 제조함으로써 섬유간 마찰 및 섬유원복을 위한 거리를 줄여 섬유손상을 최소화할 수 있으며 이송로봇을 적용하여 다양한 곡률 및 형상을 지닌 3차원 프리폼을 자동 생산할 수 있는 장점을 가짐



[그림 10] 용기제작 블레이딩 방식 비교

5. 맺음말

- ▶ 수소저장장치는 수소전기차의 연료인 수소를 고압으로 저장하고 연료전지시스템으로 수소를 공급하는 장치로서 연료전지 스택과 함께 수소전기차 가격구성의 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 700bar의 가연성 수소를 안전하게 저장·공급해야하는 핵심부품
- ▶ 정부는 '40년까지 620만대의 수소전기차를 보급하기 위하여, 승용, 택시, 버스, 트럭 등 전 차종으로 수소전기차를 확산할 계획이며, 이를 위해서는 전기차 및 내연기관차와의 플랫폼 공유가 가장 실효성 있는 전략을 분석됨
- ▶ 하지만 플랫폼 공유를 위한 가장 큰 제약 조건은 큰 부피를 차지하고 있는 수소저장장치의 탑재 가능여부이며, 이러한 기술적 제약을 극복하기 위하여 다양한 형태의 수소저장용기와 제조방법에 대한 기술개발이 요구되고 있음

[참고문헌]

1. 필라멘트 와인딩의 개요 및 기술 동향, 윤재득 외, 2015. 09, 한국CDE 학회
2. 탄소섬유 투우프리프레그 최신 연구동향, 박용민 외, 2017. 4, 한국추진공학회지
3. <https://www.daimler-truck-fuelcell.com/product-technology>
4. <https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen.html>
5. <http://voluteinc.com/>
6. <https://news.hyundaimotorgroup.com/Article/Hydrogen-Tank-Safety-Proven>

[국내 주요 기술개발 현황]

연구기관명	프로젝트명	개요	연구기간	부처명
한국탄소융합기술원	• 전기차 플랫폼 공용화 기반 수소차용 비정형 수소저장장치 개발	- 전기자동차 플랫폼을 수소전기차에도 공동으로 활용하기 위해 전기차용 플랫폼에도 탑재가 가능한 수소전기차용 비정형 수소저장장치 기술 개발	2020 - 2024	산업부
일성기계공업	• 수소 충전소용 Type 2 방식의 저가형 Metal Wire Winding 수소저장용기 개발	- 875bar 급 Type 2 수소저장용기 기술 개발	2016.12 - 2019.9	산업부
일진복합소재	• 70L이상 급 고밀도 고압수소저장탱크 원가절감을 위한 경량화 기술개발	- 중량저장밀도 6.0wt%를 만족하는 70L 이상 급 700bar 수소저장탱크 개발	2017.6 - 2020.12	산업부