

테슬라 버티컬(상): 혁신의 상징 '테슬라 플랫폼'

박형근 수석연구원, 신성장연구실 (hyungkeun.park@posri.re.kr)

심는 순서

[상] 혁신의 상징 '테슬라 플랫폼' ('21.8.11.)

PART 1. 경쟁자 따돌리는 기가캐스팅

PART 2. 4680 배터리셀의 비밀

[하] 모빌리티 왕국 꿈꾸는 테슬라 ('21.8.25.)

PART 3. 자율주행기술 A부터 Z까지, FSD와 AI하드웨어

PART 4. 서비스로 완성되는 수직계열화

Executive Summary

- 테슬라는 분업과 위탁이 일반화된 완성차 시장에서 원료부터 생산, 서비스까지 직접 관여하는 수직계열화를 통한 차별화를 추구
 - 핵심기술 개발, 수직계열화를 통한 효율화 및 원가경쟁력 확보, 전체 최적화 관점의 접근을 통한 혁신을 기반으로 경쟁자들보다 항상 앞서 나가는 전략
- 가장 효율적인 완성차 생산방식으로 평가받고 있는 금속패널 점용접 방식을 고집하지 않고, 대형 부품을 알루미늄 캐스팅으로 생산하는 기가캐스팅 개발
 - 70여 개 금속패널을 이어 붙여 만든 리어 언더바디를 하나의 알루미늄 캐스팅 부품으로 통합해 단순화, 컨베이어와 로봇 300여 대를 대체
 - 프론트 언더바디도 하나의 캐스팅 부품으로 통합해 향후 차체 전체 하부구조를 단 3개의 부품으로 단순화. 차체 공장 면적도 20% 절감할 것으로 예상
- 현재 대형 캐스팅 설비를 제작하는 기업은 두 곳 정도로 제한적이며, 다른 완성차 기업이 빠르게 이러한 전략을 추격하기는 어려울 전망
 - 클램핑 압력 6천톤급 이상 캐스팅 설비를 제작할 수 있는 기업은 이탈리아 IDRA와 중국의 임프레스플러스 두 곳 정도이며, 각 연간 9대 생산능력 보유
 - 이미 테슬라의 주문으로 포화된 상태이며, 특히 캐스팅 부품의 품질을 좌우하는 알루미늄 합금개발과 생산 노하우는 쉽게 모사하기 어려운 기술력
- 테슬라는 지난해 배터리데이를 통해 차세대 배터리 표준인 4680 셀을 소개, 에너지 밀도와 열관리 성능, 원가경쟁력을 크게 개선할 것으로 전망
 - 원통형 배터리셀의 취약점인 열 배출 특성 개선을 위해 탭을 없애고 상/하부 단면 전체를 방열면으로 활용해 에너지 특성을 개선
 - 배터리셀 자체가 구조적 강도를 갖추고 열관리 특성이 우수해지면서 배터리팩 내부의 부가구조물과 냉각구조물의 단순화가 가능해져 팩 성능 향상
- 신생 기업인 테슬라는 관료주의나 사일로(silo) 현상이 지배적인 전통적 완성차 기업에 비해 밑바탕부터 다시 고민해보는 새로운 시도에 개방적
 - 전통적 기술이나 생산방식에 대한 관성을 쉽게 버리기 어려운 기존 완성차 기업과 달리 생산시설 확장과정에 있는 테슬라는 새로운 시도를 추구하기 좋은 여건
 - 혁신에 대한 끊임없는 도전과 새로운 시도에 개방적인 스타트업 문화가 이러한 차별성을 가져오는 데 큰 역할을 한 것으로 분석
- 소재 기업도 소재 관점의 개선에만 국한하지 않고 전방의 부품기업, 완성차 기업과 협력을 통해 전체 최적화 관점에서 혁신을 추구할 필요가 있음

[테슬라 버티컬]

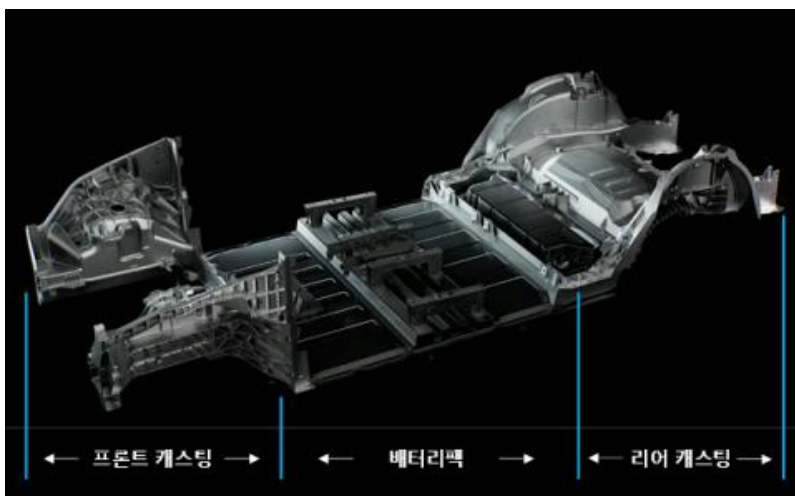
테슬라 버티컬(vertical) 시리즈를 통해 전기차 밸류체인 전반에 걸쳐 뛰어난 기술력과 역량을 축적해 다른 기업과 비교되는 차별적 경쟁력을 보이고 있는 테슬라의 수직계열화(vertical integration) 전략을 살펴보고자 하며, 이 과정에서 테슬라의 핵심경쟁력을 파악하기 위해 주요기술(차체 엔지니어링, 배터리 및 자율주행기술, 모빌리티 서비스)에 대한 심층(vertical) 분석을 진행

PART I. 경쟁자 따돌리는 기가캐스팅

1. 테슬라의 차세대 전기차 플랫폼에 적용된 기가캐스팅

- 테슬라는 지난해 배터리데이를 통해 3개 부품(프론트/리어 캐스팅, 배터리팩)으로 구성되는 차세대 전기차 플랫폼 언더바디를 소개
 - 모델3 후면부(리어 언더바디)는 이미 '20년부터 1개의 대형 알루미늄 합금캐스팅 적용을 통해 기존 70여 개의 금속패널로 구성된 부품 대체
 - 지난 5월에는 기가텍사스(테슬라 텍사스 오스틴市 공장)에서 향후 모델Y에 적용될 것으로 보이는 전면부 대형 캐스팅 부품 공개

【 그림1. 테슬라 차세대 플랫폼과 기가캐스팅 부품 】



테슬라 차세대 플랫폼 3-피스 언더바디

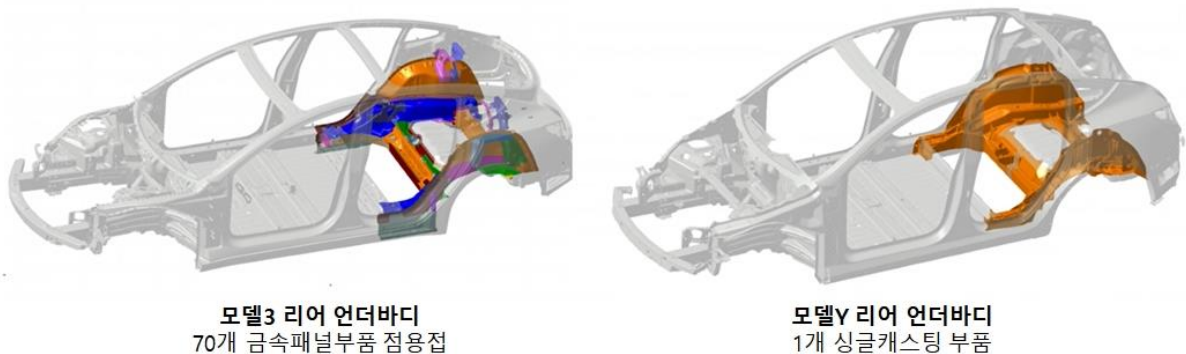


프론트 기가캐스팅, 테슬라 텍사스 공장

자료: 테슬라 배터리데이, 보도자료

- 대형 캐스팅 부품은 그간 가장 효과적인 자동차 대량생산 방식으로 여겨지던 금속판재 스탬핑-점용접 조합을 위협하는 혁신적 시도로 평가
 - 기존 프론트/리어 언더바디 생산 공정에는 각각 14개의 스테이션과 약 300대의 로봇이 필요했으나, 이를 하나의 대형 캐스팅 공정으로 단순화 가능
 - 전체 1,000대의 로봇이 필요한 바디샵(차체공장)에서 로봇만 2/3를 견어낼 수 있으며, 이를 통해 테슬라 바디샵 컨베이어벨트 공간의 20%를 절약 가능한 것으로 추정
 - 부품을 구성하는 알루미늄 합금소재 가격은 철강 등 기존 소재에 비해 고가임에도 불구하고 공정이 단순화되면서 부품 기준 생산단가는 약 40% 더 저렴할 것으로 기대

【 그림2. 테슬라 모델3/Y 리어 언더바디 부품단순화 】



자료: 테슬라

2. 기가프레스 설비 개요

- 테슬라가 사용하는 대형 캐스팅 설비는 기존 완성차 업계에서 사용하던 4천톤급을 크게 뛰어넘는 6천톤급(모델3)/8천톤급(모델Y) 클램핑 압력의 기기
 - 8천톤 클램핑 압력은 보잉 747 비행기 20대 무게로, 부품 형상이 새겨진 2개 피스의 금형을 양쪽에서 눌러 캐스팅 부품 생산. 부품이 커질수록 강한 압력이 필요
 - 설비무게만 400톤(약 1기가 파운드)이 넘어 '기가프레스'라 칭하였으며, 한 번에 104kg의 용융알루미늄 합금을 10m/s의 속도로 주입 가능
 - 하루 최대 1천 번, 연간 36만5천 번 캐스팅이 가능한 내구성을 지니고

있으나, 현재 테슬라는 다운타임(고장 등으로 운용될 수 없는 시간) 등을 고려 하루 500개 부품 생산. 향후 하루 700번 이상 월 2만5천 개의 부품을 하나의 설비에서 생산할 수 있을 것으로 예상

○ 6천톤급 이상 대형 캐스팅 설비를 생산하는 곳은 전세계 단 두 곳으로 이탈리아의 IDRA사와 중국의 임프레스플러스사

- 두 회사 모두 현재는 홍콩에 본사를 둔 중국 LK그룹의 자회사로 각각 연간 약 9대의 설비를 공급할 수 있는 생산능력 보유
- IDRA는 '21년에도 9기를 생산할 예정인데 5기는 테슬라에 이미 납품, 향후 오스틴 공장과 독일 베를린 공장에 남은 4기를 공급하기로 계약
- 현재 테슬라는 미국 프리몬트 공장에서 IDRA장비 2기, 중국 상하이 공장에서 임프레스플러스 장비 3기를 가동 중이며, 올해 미국 오스틴에서 3기, 독일 베를린에서 2기를 추가로 가동할 예정

【 그림3. 테슬라에 설치된 IDRA OL6100 기가프레스 장비 】



IDRA OL6100 기가프레스 장비

테슬라 공장에서 실제 작동 중인 기가프레스

자료: IDRA, 테슬라 보도자료

3. 기가프레스 적용의 효과

□ 기가프레스를 통해 테슬라는 공장 가동정상화(ramp-up) 시간을 현저히 줄일 수 있고, 비용 면의 우위뿐만 아니라 정확한 치수제어로 조립품질이 향상될 것으로 기대

○ 자동차 언더바디 새시부품은 여러 패널을 점용접으로 이어 붙이는 패치워크에 화학적 본딩과 수밀성(물의 침투, 흡수, 투과를 막는 성질) 확보를 위한 실링, 부품성형에 따른 스프링백(spring back) 문제까지 발생해 최종 조립 단계에서 단차*가 발생

- 단차 문제는 사실상 성능에는 큰 영향이 없지만 소비자 감성품질 문제로, 테슬라는 단차 이슈로 고객불만이 높은 대표적 브랜드

- 기가프레스를 통해 단차가 크게 줄고 마운팅 위치도 정확해지면 조립품질이 '마이크로 밀리미터' 단위로 우수해질 것이라고 CEO 일론 머스크가 강조

*단차: 완성차 조립과정의 품질불량 가운데 하나로, 부품의 치수불량, 부품 간 체결 및 접착 과정 오차로 인해 외부패널의 gap이 일정하지 않은 현상

○ 기가프레스가 가능했던 것은 우주항공 혁신기업 스페이스X의 경험을 지닌 재료공학팀의 뛰어난 기술력이 뒷받침됐기 때문

- 테슬라는 알루미늄 다이캐스팅 후에 열처리 없이도 부품변형이 적고, 코팅/아노다이징(양극산화 피막 처리)이 필요 없는 AA386 합금을 자체 개발
- 뛰어난 야금학적 설계로 부품 생산 후에도 금속 내 공극발생이나 감자껍질이 벗겨지는 것처럼 불량한 표면이 생기는 현상(potato chipping) 최소화
- 슈퍼컴퓨팅을 통한 다이캐스팅 정밀 시뮬레이션으로 고속주입이 가능해져 합금이 주입 과정에서 식어 불량이 발생하는 냉캐스팅(cold shot)도 해결

【 그림4. 테슬라 AA386 합금 구성 】

Material	Instance#	Avg. Accuracy Number	Element	Avg. % Composition	Deviant $\pm 2\sigma$
AA 386	13	3.723	Mg	0.075	0.0036
			Al	89.482	0.381
			Si	8.525	0.247
			Ti	0.013	0.005
			V	0.015	0.006
			Mn	0.455	0.027
			Fe	0.277	0.017
			Ni	0.009	0.003
			Cu	0.790	0.024
			Zn	0.020	0.003
			Zr	0.005	0.001
			Sb	0.000	0.000
			Pb	0.004	0.001

자료: Munro&Associates ('21.4.23.)

□ 테슬라는 알루미늄 대형 캐스팅 적용 외에도 소재변경, 부품단순화로 지속적인 원가혁신과 공정혁신을 이루고 있음

- 지속적으로 공장을 신설하고 있는 테슬라는 이미 오랜 세월 투자를 통해 축적해온 자산(sunk cost)을 보유하고 있는 완성차 기업에 비해 새로운 시도에 상대적으로 유리한 환경

- 모델S, X와 같은 프리미엄 라인업에는 차체에 알루미늄 소재가 97% 사용된 반면, 모델3, Y와 같은 대중차량에는 철강기반 차체로 전환
- 트렁크 하단 100여 개 부품조합으로 이루어진 금속버킷을 일체형 플라스틱 복합소재로 통합해 경량화와 원가절감 달성
- 향후 출시될 사이버트럭에는 스테인리스 적용을 통해 도장공정도 생략, 차체 외피 자체가 구조물이 되는 엑소스켈레톤 디자인도 시도
- 단, 대형 알루미늄 캐스팅, 스테인리스 엑소스켈레톤 등은 안전기준 및 법규, 유지보수 사례가 축적되지 않은 내용으로 초기 실증결과는 모니터링 필요

4. 시사점

□ 테슬라 기가캐스팅과 같은 혁신은 다른 기업이 흉내내기 쉽지 않다는 분석이 지배적

- 대형 캐스팅이 새로운 기술이 아님에도 레거시 기업에서 시도하지 못한 이유는 내부 정치나 조직 관료화로 인한 의사결정 기피와 사일로 현상이 원인
 - 대형 캐스팅 부품 적용을 위해서는 차량의 완전한 재설계가 필요한데, 완성차 업체는 소재 개발부터 생산까지 일괄 관리하는 수직계열화보다는 외부의 제3기업에 부품 일부를 맡겨 리스크를 분산하는 전략을 오래 취해왔기 때문에 완성도 하락 우려
 - 대형 캐스팅 설비 업체도 현재 두 곳뿐이며, 연간 생산능력도 10대가 채 안 되어 테슬라 주문만으로도 이미 포화
 - 운이 좋아 설비를 도입하더라도 알루미늄 합금 등 재료에 대한 이해 없이는 품질확보가 어려울 것으로 예상. 스페이스X에서의 개발경험이나 최고 수준의 야금학 전문지식은 흉내내기 어려운 테슬라만의 자산
- 소재기업도 부품단위의 최적화뿐만 아니라 고객사와의 협력을 통한 제품 전체 최적화 관점의 소재개발이 필요하며, 이를 위한 혁신문화 확산 필요
 - 전문화, 분업화가 지배적인 최근의 조직구조와 문화에 수직계열화, 전체 최적화 관점의 조직구조나 문화의 적용에 대한 고민이 필요한 시점
 - 소재의 최적화뿐만 아니라 완성차 공정의 변화를 일으킬 수도 있는 '원점에서의 재검토(from scratch)' 수준의 아이디어 도출 노력 필요

PART II. 4680 배터리셀의 비밀

1. 테슬라 배터리셀의 진화 과정

□ 테슬라는 지난해 '배터리데이'를 통해 차세대 배터리 표준인 4680(지름 46mm, 높이 80mm) 원통형 배터리를 선보이며 향상된 성능의 전기차 플랫폼 출시 예고

○ 초기 모바일 기기에서 사용하던 18650 표준 배터리를 채택한 이후 '18년부터는 2170 표준 적용. 향후 생산되는 모델에는 4680 표준을 적용 예정

- 테슬라의 배터리셀 표준은 세대를 거칠 때마다 셀 크기의 증대뿐만 아니라 소재사용 절감, 생산성 및 에너지 밀도 향상을 통한 원가혁신 지속

○ 4680 셀이 특별한 이유는 배터리 화학적 조성(니켈·코발트 등 양극재, 실리콘 등 음극재 조성 원료물질)에 의한 성능향상보다 기계적 설계 혁신이 눈에 띄기 때문

- 그동안 배터리 성능향상은 셀이나 팩의 디자인보다는 양극재의 니켈 함량을 높이고, 음극재에 실리콘을 첨가하는 등 화학적 조성을 통한 개선에 주로 의존

- 테슬라는 배터리셀의 사이즈를 키워 셀 자체가 구조물 역할을 하는 'Structural Battery' 기술을 적용해 팩 에너지 밀도가 혁신적으로 향상될 것으로 기대

- 또한 배터리 전극부품인 탭을 제거해 열관리 효율을 높이고 출력밀도를 향상함으로써 2170 배터리셀 대비 4680 배터리셀이 에너지 5배, 주행거리 16%, 출력 6배의 성능을 보인다고 주장

【 그림1. 테슬라의 세대별 배터리셀 】



자료: 테슬라 배터리데이, Munro&Associates, 포스리 정리

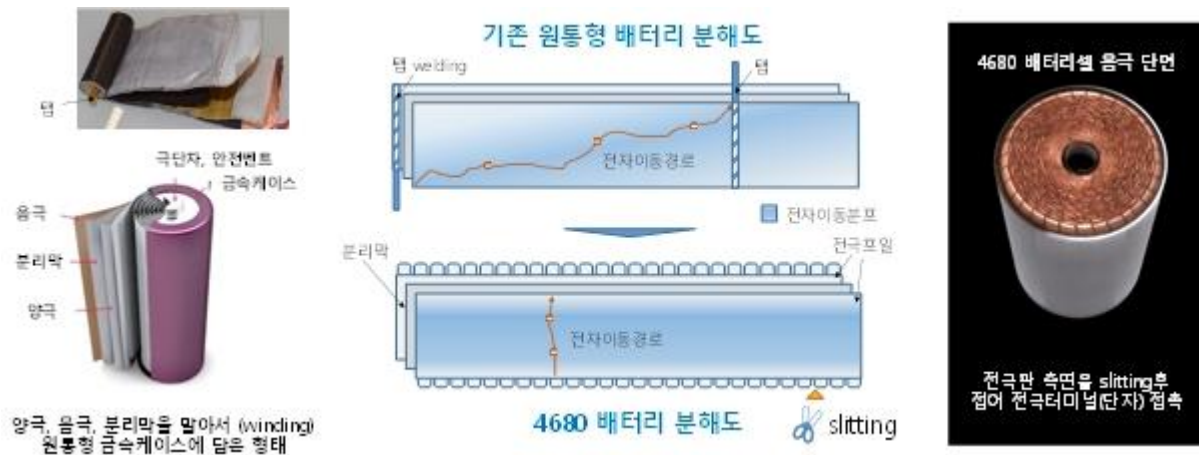
2. 4680 배터리 완전분해 (Teardown)

(1) 탭리스(Tabless) 디자인

□ 4680 배터리는 탭을 제거해 전기 및 열 저항을 크게 개선하고, 탭 용접공정을 삭제해 생산성 향상

- 기존의 원통형 배터리는 배터리셀 외부의 양/음극단자와 내부의 전극 포일을 각각 연결해주는 얇은 막대 모양의 탭을 전극 포일에 용접
 - 4680 배터리는 탭을 제거하고 전극 포일의 측면에 잘게 칼집을 내어(slitting) 전극과 단자 사이 접촉면을 크게 늘림으로써 복잡한 탭 용접 공정을 삭제
- 기존 구조에서는 충방전 시 전자가 전극 탭 사이를 오가기 위해 전극 포일 길이 방향의 긴 경로를 이동하는 과정에서 전기저항 및 열저항이 발생해 성능 저하 유발
 - 4680 배터리셀에서는 전자가 전극 포일의 높이 방향으로 더 넓은 면적에 걸쳐 짧은 경로를 통해 이동함으로써 저항이 줄어 열 배출이 효과적이며 출력도 향상
 - 또한 전하이동 경로가 전극 포일 면에 고르게 분포하기 때문에 배터리 수명단축의 원인이 되는 리튬-플레이팅(음극 표면에 리튬이 석출되는 현상) 억제에도 유리

【 그림2. 기존 원통형 셀 vs. 4680 셀 】



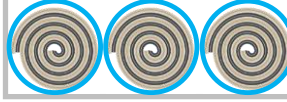
자료: A2Mac1, The Limiting Factor, 포스리

(2) 원통형 디자인

□ 원통형 디자인은 사각 단면을 주로 지닌 배터리 패키지에 태생적으로 불리

- 원통형 셀은 배터리 역사상 가장 오래된 생산방식이며, 필름을 감는 와인딩 방식의 단순한 공정으로 인해 설비도 최적화되어 가장 높은 생산성을 지님
 - 하지만 일반적으로 각형, 파우치셀과 비교해 사각 단면의 배터리팩에 담을 경우 버려지는 공간(dead space)이 발생할 수밖에 없어 동일 부피의 패키지 안에서는 에너지 밀도 향상이 어려움
- 하지만 테슬라의 차별화된 설계와 원통형 셀의 생산성 우위를 앞세워 경쟁우위 확보
 - 테슬라는 배터리셀의 사이즈를 키워 셀을 담는 약 0.125mm 두께의 스틸 캔 패키징 총 사용량을 팩 수준에서 30% 이상 줄일 수 있을 것으로 예상
 - 2170 배터리셀 4,416개가 담기던 배터리팩 레이아웃에 4680 배터리셀 960개가 담기게 되면서 셀들을 연결해주는 와이어링 등 소재를 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 기대(8,800개 연결부 → 1,800개)
 - 생산공정에서도 batch 사이즈를 줄이면 혁신적인 원가개선이 가능

【 그림3. 파우치형 vs. 각형 vs. 원통형 특징 비교 】

셀타입	파우치형	각형	원통형
대표 그림			
적층 단면			
장단점	• '데드스페이스' 최소화로 고밀도 배터리셀 가능 • 복잡한 공정과 난이도	• 금속 외피로 비교적 안전 • 다양한 셀 스택킹 가능 • 상대적으로 복잡한 공정	• 긴 역사, 안정적 생산방식 • 탁월한 원가경쟁력 • 상대적 에너지 밀도 열위

양극재
 음극재
 분리막

자료: Bingbin Wu et al 2019 J. Electrochem. Soc. 166 A4141, LG에너지솔루션, 삼성SDI, 파나소닉 그림 활용 포스리 재편집

(3) Structural Battery

□ 배터리팩은 실질적 에너지를 담고 있는 배터리셀 외에도 열관리를 위한 냉각시스템, 외부충격에 따른 배터리 변형과 이로 인한 화재를 막고 배터리 무게를 지지하기 위한 안전구조물이 필요해 에너지 밀도 향상을 위한 설계 필요

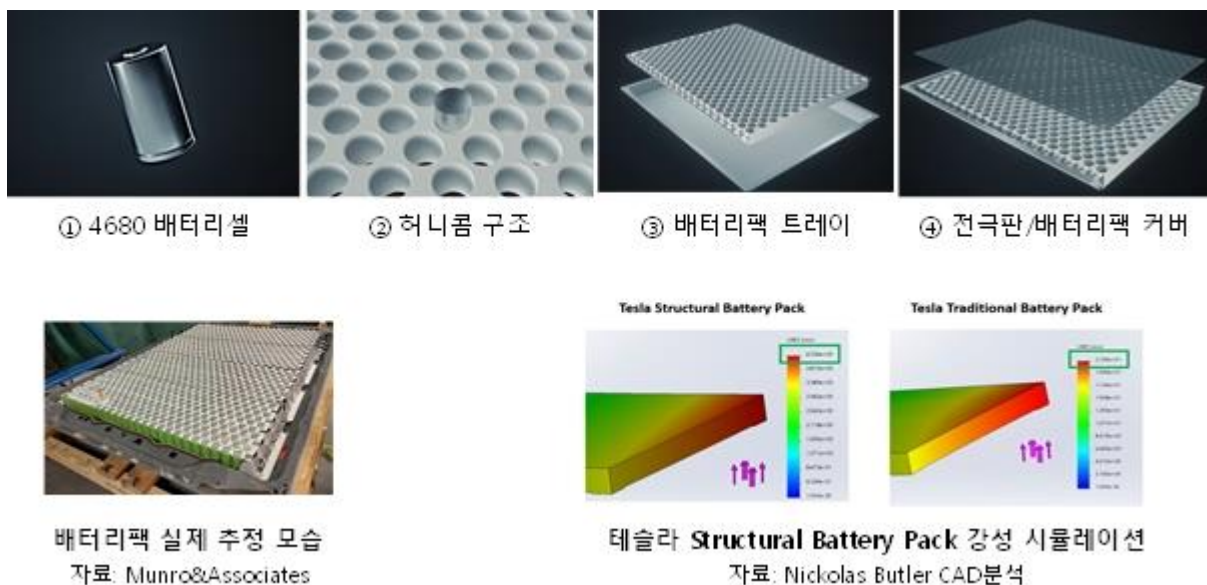
○ 배터리팩은 일반적으로 기본단위인 셀을 여러 개 묶어 모듈로, 다시 여러 모듈을 담아 하나의 팩으로 구성 (셀-모듈-팩)

- 최근 CATL, BYD 등 중국기업은 셀에너지 밀도가 상대적으로 낮은 리튬인산철계(LFP) 배터리의 팩 단위 에너지 밀도를 높이기 위해 중간단계의 모듈을 만들지 않고 셀을 바로 팩에 담는 CTP(Cell-to-Pack) 기술 적용

□ 배터리셀 자체가 구조적 강도를 갖추게 되면서 사실상 셀-투-샴시(Cell-to-Chassis)를 구현, 팩 에너지 밀도 저하의 원인이 되는 충격 안전구조물 제거 가능

- 배터리셀 사이즈가 커지면서 배터리 자체가 구조물 역할을 하게 되자 테슬라는 모듈을 생략하고 이를 'Structural Battery'로 지칭, 배터리셀이 차량 새시 역할을 하는 배터리팩에 바로 담기는 형태
 - 테슬라 차세대 전기차 플랫폼은 금속판재를 프레스 가공한 배터리팩 트레이에 4680 배터리셀을 바로 담고 에폭시계 충진재를 주입해 충격을 완충하고 강성을 크게 높일 것으로 예상 (기존 배터리팩 구조 대비 약 5.1배의 비틀림 강성 확보 예상)
 - 이로 인해 배터리팩 내에 충격 안전구조물을 제거할 수 있어 팩 단위의 에너지 밀도 향상이 가능하며 자동차의 주행안정성과 승차감 향상에도 영향
 - 특히, 기존 2170 셀에서는 열관리를 위해 냉각핀이 배터리셀 사이사이를 지나가는 쿨링 스네이크 구조를 채용한 반면, 4680 셀은 전극단자 방향으로 열을 방출함으로써 바닥 면에 냉각 플레이트를 배치하는 구조로 단순화해 에너지 밀도 향상에 유리

【 그림4. Structural Battery Pack 개요 】

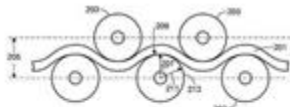


자료: The Limiting Factor, Munro&Associates, Nickolas Butler

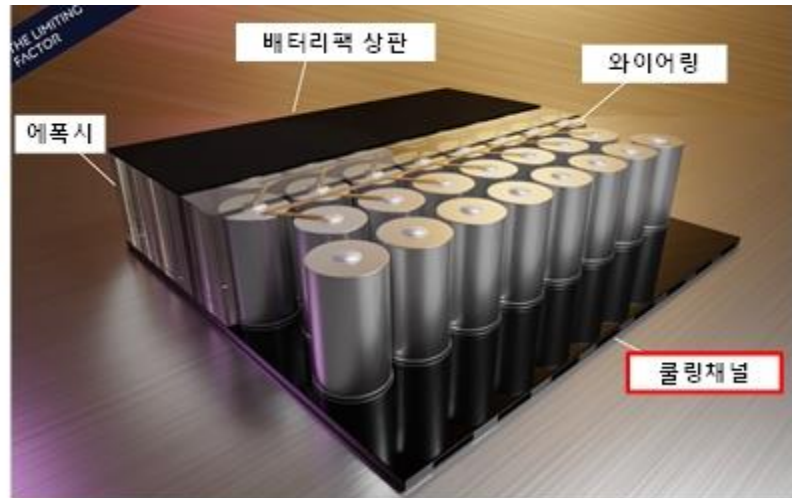
【 그림5. 2170 쿨링 스네이크 vs. 4680 냉각방식 】



모델3 실제 쿨링 시스템
냉각채널(쿨링 스네이크)



테슬라 냉각시스템 특허 그림
2170 원통형 배터리를 둘러싼
쿨링 리본 (쿨링 스네이크)



4680배터리셀을 활용한 테슬라 차세대 전기차 배터리팩 구조

자료: 테슬라, The Limiting Factor

3. 종합 및 시사점

□ 테슬라는 앞서 언급된 배터리의 기계적 설계혁신 외에도 배터리의 성능 향상을 위한 화학적 조성 개선과 원료조달 분야, 재활용에도 끊임없는 혁신 진행 중

- 하이니켈계로 가면서 미분화되어 수명이 단축되는 양극재 문제를 해결하기 위한 단결정 양극재 개발이나 음극재 성능향상을 위한 실리콘 첨가 기술도 개발
 - 배터리 공정 가운데 NMP(N-Methyl-2-Pyrrolidone) 등 용매와 물에 양극 전구체 등을 담아 혼합, 건조하는 공정을 건식공정으로 전환해 설비투자를 대폭 줄이고 오염물질 배출 및 에너지 소비 절감 계획
 - 리튬, 니켈 등 책임광물 조달, 탄소발자국을 줄이기 위한 역내 원료조달 노력도 벤치마킹 대상이며, 테슬라 CTO 출신 JB Straubel이 창업한 Redwood Materials의 재활용 사업과 협력 등도 주목할 필요 있음
- 배터리 기업들은 배터리셀 내의 소재 최적화에서 해답을 찾으려 하고 있을 때, 테슬라는 차량 전체를 보는 'Out of the Box' 관점의 전체 최적화로 돌파

- 4680 배터리가 소개되기 전까지 전기차 업계는 하이니켈 양극재 개발, 차세대 전지인 전고체 기술개발 등에 매몰되어 있었음
- Structural Battery의 영향으로 상대적으로 에너지 밀도가 낮아 시장에서 점차 소외될 것으로 보이던 리튬인산철계(LFP) 배터리도 다시 주목
- 자동차 분해 전문가인 Sandy Munro의 평가에 의하면 테슬라의 Structural Battery에는 동일 배터리팩 규격 안에 많게는 기존 대비 50% 이상의 에너지를 담을 수 있어 LFP도 충분한 경쟁력을 갖출 전망
- 테슬라가 자신 있게 차세대 전기차 플랫폼을 통해 주행거리가 크게 늘어날 것임을 공언한 배경과 엔트리 라인업에 LFP 배터리를 채용한 것에는 이러한 이유가 있으며, 이후 폭스바겐도 유사전략을 채택했음을 파워데이를 통해 확인

→ '기가프레스'에 이어 '4680 배터리'에서도 밸류체인 전체를 아우르는 수직계열화, 전체 최적화의 중요성에 대한 시사점을 얻을 수 있음

이 자료에 나타난 내용은 포스코경영연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.

[참고자료]

[뉴스/인터넷]

- "Tesla Gigacastings, Micron Precision, and Unique Alloy, The Limiting Factor, 2021.5.27.
(<https://www.youtube.com/watch?v=FaIBdVdu0wo>)
- "IDRA GROUP | Important Announcement - Giga Press", Idra Group, 2021.3.30.
(<https://www.youtube.com/watch?v=DbxxrbYWN74>)
- "Sandy Munro On Next-Generation EV Technology:...", CHARGED Electric Vehicle Magazine, 2021.4.23. (<https://www.youtube.com/watch?v=053rKZjP-8c>)
- "Manufacturing the structural battery pack from the cell up", The Limiting Factor, 2021.5.13. (<https://www.youtube.com/watch?v=ptnq2G0WEBc>)
- "How does Tesla's tables cell design benefit them?", E-Vaahan, 2020.9.24.
- "The 4680 Cell", TECHtricity, 2020.11.15.
- "Tesla's 4680 battery cell is 'brilliant' according to industry experts", Dr. Power Corporation, 2021.1.5.
- "Tesla structural battery pack patent hints at clever contingencies for crashes, cell failures", Teslarati, 2021.5.27.
- "Audi e-tron – battery and safety", MyWebTV
(<https://www.youtube.com/watch?v=QLHHy7rKOMo>)
- "Tesla Model3 2170 energy density compared to Bolt, Model S P100D", InsideEVs, 2019.2.7.
- "Tesla Battery Day – EnPower's Take", ENPOWER, 2020.9.22.
- "각형 파우치형 원통형... 배터리 모양 전쟁 불붙었다.", 매일경제, 2021.3.28.

[보고서/논문]

- "2020 Annual Meeting of Stockholders and Battery Day", Tesla, 2020.9.22.

[홈페이지]

테슬라 (www.tesla.com)

IDRA Group (<https://www.idragroup.com/index.php/en/>)