

전기차 케이블 종단에 사용되는 PowerWheel®에 대한 이해

플라스틱 용착

금속 용착

절단

세척

스크리닝



미국의 노스 빌레리카(North Billerica), 2022년 11월

비철 금속의 초음파 용착은 수십 년 동안 입증된 기술입니다. 그러다가 1980대 초반부터 초음파 금속 용착은 자동차 산업을 장악하다시피 했는데, 특히 자동차 케이블 하네스 제조업은 이 기술을 가장 많이 사용하는 부문이 되었습니다. 초음파 용착은 그 특유의 효율성과 비견할 수 없는 품질 때문에, 소개되자마자 거의 즉시 모든 자동차 브랜드에서 기계식 크림핑 및 저항 용착을 대체했습니다. 자동차 와이어 하네스 부문의 초음파 용착 기술 활용은 지난 10년 동안 전기차의 성장으로 인해 더욱 빨리 확대되었습니다. 산업계의 지평을 변화시키는 혁신적인 Telsonic의 Torsional welding 기술은 용착부의 크기, 협소한 공간에서의 작업, 작업 가능한 형태, 달기 어려운 부분에 대한 작업, 용착 방향, 진동 효과 등과 같은 문제들을 해결할 수 있는 그 탁월한 능력에 힘입어 빠른 성장을 기록했습니다.

Telsonic의 Torsional welding 기술은 수평 용착의 한계를 극복해내었으며, 십여 년 전만해도 불가능하다고 여겨졌거나 품질 표준에 미치지 않는다고 평가되었던 용도에서 획기적 전환을 낳았습니다. 이제, 이 기술은 전기차 부문의 중량 제어, 배터리 포장, 케이블-터미널 연결, 부스바, 배터리 제조 및 파워 일렉트로닉스 등을 위해 더욱 널리 채택되고 있습니다. 전기차용 배터리의 더 높은 출력과 더 빠른 충전 기능을 위해서는 더 큰 배터리 케이블이 필요하며, 때때로 특별한 커넥터가 요구됩니다. Torsional welding을 사용하는 Telsonic의 PowerWheel® 용착 기술은 자동차 산업이 요구하는 고품질 요건을 충족시키는 견고한 어셈블리 솔루션을 제공합니다.

대형 케이블을 사용한 수평 용착의 어려움

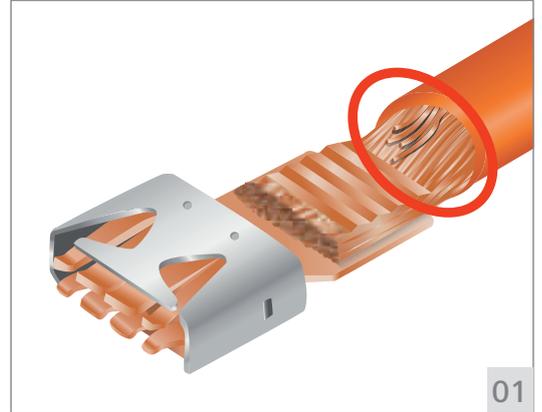
대형 케이블을 용착할 때는 여러 가지 난관을 극복해야만 합니다. 다음이 그 예입니다.

1. 용착 너비가 넓을수록, 케이블과 커넥터의 접합을 위한 진동 에너지의 전달이 더 양호해집니다. 그러나, 커넥터에도 여러 한계가 있다시피, 소노트로드(진동 톨)의 크기에도 한계가 있기 마련입니다. 용착 너비가 넓을수록 용착 전환부에서 스트랜드에 흠집이 더 많이 발생합니다. 커넥터의 표면적, 기하학적 형태 그리고 용착 방향이라는 요인들이 작업의 난관을 더욱 심화시킵니다.

2. 중단되어야 할 케이블의 크기가 클수록 제너레이터의 출력과 용착력이 더 많이 필요합니다. 150mm² 크기 케이블의 경우 10kW 이상의 출력과 최대 8000 뉴턴의 힘을 가하는 제너레이터가 필요합니다. 이토록 큰 힘은 용착 부위에 직접적으로 가하는 경우가 아니라면 일반적인 용착 작업자가 지속적으로 다루기 매우 어렵습니다. 또한, 소노트로드가 심하게 휘는 현상으로 인해 케이블과 커넥터 사이의 일관된 용착 품질을 보장하는 것이 불가능합니다.

3. 일반적인 용착 작업자는 단일 방향으로만 작업할 수 있으므로 상이하게 디자인된 커넥터와 용착 방향을 가지고 작업해야 할 경우 한계에 부딪히게 됩니다. Telsonic의 PowerWheel®은 특유의 톨링 및 진동 방향 덕분에 용착 대상으로 더욱 쉽게 접근할 수 있으므로 여기 제시된 각 난관을 해결할 수 있는 솔루션을 제공해 줍니다. PowerWheel®의 톨링 방향은 일반적인 용착법을 사용할 경우 닿기 어려운 표면의 용착 작업도 가능하게 합니다.

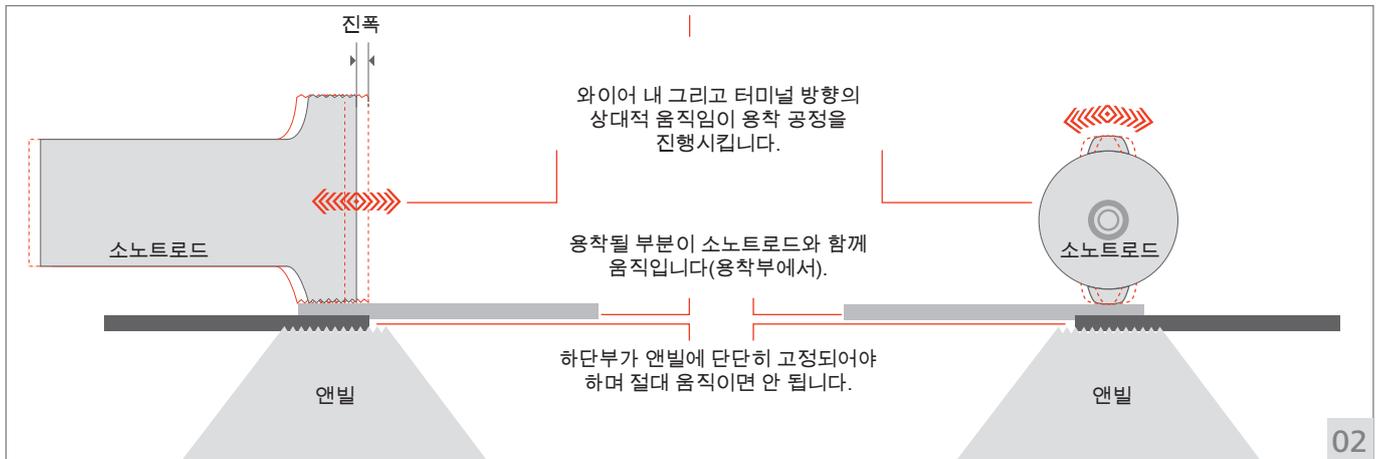
4. 상기 문제들이 존재하지 않는다 하더라도, 항상 남아있는 한 가지 난관이 있습니다. 진폭이라고 불리는 소노트로드의 상대적 움직임은 두 부품 사이에서 굽힘/마찰을 일으키는 요인입니다. (그림 2 참조). 일반적인 용착 진폭은 용착 전환부에서 가장 높습니다. 이러한 사실은 미리 설정된 용착 너비와 출력 및 힘의 조건에서 대형 케이블을 용착할 때 문제가 될 수 있습니다. 용착 너겟이 시작되는 위치 부근에 발생하는 높은 진폭은 스트랜드의 과도한 압출을 일으켜 케이블 스트랜드에 손상을 야기시킵니다 (그림 1 참조).



01 손상 또는 절단된 스트랜드

선형 용착 공정

Torsional Welding 공정(PowerWheel®)



선형 및 Torsional Welding의 작동 방식

그림 2는 수평(선형) 용착법의 기본 원리를 보여주고 있으며, 종래의 수평 방식과 Telsonic의 혁신적인 PowerWheel® 용착 기술 사이의 차이점을 이해하는 데 매우 중요한 부분입니다.

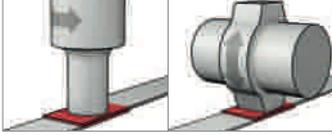
- ‘진폭’이란 소노트로드의 움직임, 즉 그 확장과 축소의 범위를 나타냅니다.
- 진폭은 용착 이음부 경계면의 스크리빙 효과와 상관관계를 가집니다. 이러한 항상 작용의 움직임이 압력과 함께 용착 공정의 주된 동력이 됩니다.

선형 용착과 Torsional Welding의 큰 차이점(표 1)

설명	선형 시스템	SONIQTWIST® (TSP) PowerWheel®	이점
압력	간접적인 힘 최대 압력 5000N	직접적인 힘 최대 8000N의 압력 중심부에서 가장 높음	직접 가해지는 힘과 중심부에서 가장 높은 진폭으로 더 큰 용착 대상물을 부드러운 진동으로 작업할 수 있음
진폭	압력으로 인한 변환기 어셈블리가 굽어짐 혼(horn)의 끝부분에서 가장 높음	중심부에서 가장 높음	전환부에 가해지는 스트레스가 적음



선형



SONIQTWIST® PowerWheel®

케이블 종단에 사용되는 PowerWheel®

PowerWheel® 용착 기술은 소노트로드를 진동시켜 비틀리는 형태로 움직이게 하는 혁신적인 컨셉트입니다. 7.2kW~14.4kW 사이의 단계별 용착 출력이 제공되므로, 각 용도를 위한 최적 용착 출력을 선택할 수 있습니다.

마찰 용착 기술은 대형 작업물, 부스바, 3D 터미널, 다양한 형태, 달기 힘든 접합부 등의 작업이나 부드러운 진동이 요구되는 작업을 가능케 합니다. 이러한 이점으로 인해 초음파 기법의 응용분야가 크게 확대되었습니다. 종전의 일반적인 수평 용착기법으로는 불가능했던 여러 접합 작업이 이제 가능해졌습니다.

PowerWheel® 용착 기술의 이점

선형 시스템을 사용한 용착보다 최대 30% 더 좁고 높게 작업할 수 있습니다. 따라서 어셈블리의 위치를 잡는 데 필요한 자재와 공간을 상당히 절약할 수 있습니다. 나아가, 두꺼운 단자 연결도 강력하게 용착할 수 있습니다. 용착 부위 바로 위에서 좌우로 회전하며 굴리는 듯한 모션으로 용착을 실시할 수 있습니다. 최대 진폭이 항상 용착 부위의 한 중앙에 위치하게 되어 에너지가 원하는 방향으로 집중될 수 있습니다. 용착 이음부에 직접적인 힘이 가해지고 너겟 전환부의 진폭이 더 작아져 케이블 가닥에 발생하는 손상이 최소화되므로 대형 케이블 작업에 필요한 에너지를 가할 수 있습니다. 소노트로드가 비틀림 형태로 움직이므로 초음파로 인해 주변 용착부에 가해지는 부하가 거의 없습니다. 따라서 이러한 마찰 용착 기술은 용착부가 아닌 곳에 발생한 진동이 손상을 일으킬 수 있는 환경에서 섬세한 작업을 해야 할 때 특히 유용합니다. 케이블의 축을 따라 진동이 천천히 전달되므로 PowerWheel®은 짧은 케이블 작업에서 더욱 효과적입니다. 짧은 케이블을 양단 모두에서 용착하는 작업에서 한쪽을 완료한 후 나머지 다른 쪽을 용착시킬 때 이미 완료된 부위가 약해질 위험이 종종 있습니다. 2011년 180mm의 50mm² 케이블에 대해 PowerWheel®을 사용한 연구들이 실시되었습니다. 연구 결과, 케이블 두 양단의 용착 강도에 아무런 차이가 없음이 밝혀졌습니다. 뿐만 아니라, 기계적 강도는 일반적인 수평 방식을 사용한 경우보다 30% 더 높았습니다.

Telsonic의 표준화된 PowerWheel® 소노트로드는 구리 및 알루미늄 와이어 작업에 최적화되어 있으며, OEM 및 하네스 제조사들의 요건과 USCAR 38 표준(초음파를 사용해 용착된 케이블 단자를 위한 성능 규격)을 충족합니다. 일반적인 초음파 용착과 마찬가지로 PowerWheel® 시스템은 모든 비철금속을 용착할 수 있습니다.

간단하게 살펴보는 PowerWheel® 용착의 이점

- 14.4kW, 8kN의 최대 출력
- 지름이 큰 케이블, 대형 터미널/튜브형 케이블 러그에 대한 작업이 가능
- 최대 160mm²의 구리/200mm²의 알루미늄 와이어 용착 가능
- 최대 30% 더 좁은 용착 작업 가능
- 크게 향상된 와이어 압축
- 탁월한 용착 강도
- 범용 피드를 위해 조정 가능한 용착 방향
- 용착부에 대한 뛰어난 접근성



03

03 배터리 케이
블 종단을 위한
PowerWheel® TT7

필요 장비

일반적인 초음파 용착법에서와 마찬가지로 초음파 마찰 방식의 용착 작업에도 제너레이터, 컨버터 그리고 소노트로드가 필요합니다. 그러나, 일반적인 방식과는 달리 소노트로드가 수평이 아닌 비틀림 형태로 진동하기 때문에 주변 부위에 미치는 영향이 적습니다. 또한, 최대 14.4kW의 초음파 출력이 소노트로드를 통해 전달됩니다. 비틀림 방식에서 제너레이터에 의해 생성된 전기적 진동이 PZT 진동 변환기로 전달되어 압전 효과를 통해 기계적 진동으로 전환됩니다. 선형 진동을 비틀림 진동으로 전환하는 일은 SONIQTWIST® 진동 헤드의 음향 부품들을 특정 순서로 어셈블리하는 작업을 통해 진행됩니다.

새로 개발된 PowerWheel® Telso®Terminal TT7 초음파 금속 용착 설비는 케이블 어셈블리 및 배터리 생산을 포함한 다양한 용도에서 사용이 가능합니다. HV 케이블, 배터리 터미널, 3D 터미널, 부스바, 그리고 매우 다양한 디자인으로 용착되는 셀 커넥터 등이 그 예입니다.

컴팩트하고 현대적인 디자인의 이 모듈형 시스템은 디지털 기술, 디지털 네트워킹을 위한 표준 인터페이스 및 자동화 시스템과의 손쉬운 통합을 사용한 뛰어난 공정 제어 등 다양한 이점을 제공합니다. 이 새로운 시스템은 또한 그 성능이 입증된 Telsonic의 PowerWheel® 용착 기술의 최신 버전을 기본 기능으로 차용해 최대 단면적 200mm²의 금속 케이블 용착 시 최대 신뢰도와 최적 공정 제어를 제공합니다.

스트랜드 와이어 작업에 사용되는 PowerWheel® 용착 기술 – 실제 응용 사례

1. 미세한 케이블 가닥을 손상 없이 좁은 부위를 용착해야 하는 작업
 그림 5를 보면 동일한 크기의 케이블에 비해 제한적인 공간을 가진 로젠버거 커넥터를 마감하기 위해 35mm² ProEVTM 고품질 케이블이 사용되었습니다. 이 용도에서는 높은 유연성 확보를 위해 ProEVTM 케이블이 사용되었습니다. 그러나 11mm가 아닌 10mm라는 용착 너비와 아주 미세한 스트랜드 때문에 작업이 어려웠습니다. 적은 면적의 공간에서 용착 천이 부위에 있는 미세 가닥을 손상시키지 않으면서 필요한 용착 압축을 완료할 수 있는 용착 솔루션이 필요한 경우였습니다.

솔루션:

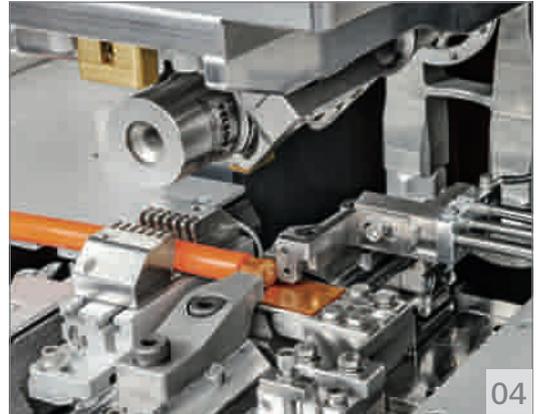
ProEVTM 35mm² 연성 케이블과 10mm 폭의 커넥터 사이의 고품질 용착을 위해 Torsional PowerWheel® 용착 설비가 사용되었습니다. 기존의 커넥터 반경으로 인한 제한적인 체결력을 보상하기 위해 톨링 디자인과 구성을 조절해야 했습니다. 이 톨링 디자인과 구성 솔루션은 고품질 용착을 위해 필요한 용착 에너지를 충분히 제공해 주었습니다.

2. 달기 힘든 용착 부위

90° SQ4 터미널은 용착 부위에 플레이팅이 없는 C15100 구리 합금으로 만들어져 있습니다. 해당 작업은 35mm²와 50mm² 케이블 두 가지를 모두 용착하는 일이었습니다. 15mm의 용착 너비 작업을 위해 50mm² 케이블용 터미널 블레이드의 폭이 13mm에서 18mm로 변경되었습니다. 15mm 소노트로드 사용 시 터미널 각 면의 클램핑 너비를 1.5mm로 유지할 수 있습니다. 그러나 17mm라는 커넥터의 높이 때문에 소노트로드가 선형적인 일반 초음파 용착 공정을 수용하기에는 어려움이 있었습니다. 17mm의 높이를 수용 하면서 필요한 20kHz의 주파수를 효율적으로 제공할 수 있는 선형 소노트로드를 설계하는 일은 물리적으로 불가능합니다.

솔루션:

커넥터의 높이를 수용하고 SQ4 터미널의 35mm²와 50mm² 케이블에 대한 뛰어난 고품질 용착 작업을 위해 Torsional PowerWheel® 시스템이 사용되었습니다. 소노트로드가 가진 특정 방향이 90° 터미널 작업을 가능케 했고, 고품질의 용착을 위해 필요한 충분한 양의 에너지를 제공해 주었으며, 진동이 부드럽게 적용되므로 천이 부위 또는 커넥터에 있는 미세 가닥에 영향을 미치지 않습니다.



04



05



06

- 04 PowerWheel® TT7 용착 부위
- 05 ECI의 Promark Electronics가 생산한 ProEVTM 케이블이 로젠버거 온도급 수 커넥터와 용착된 상태.
- 06 50mm² 크기의 케이블과 용착된 90° SQ4 터미널



3. 그 외 어려운 작업 사례

다음은 스트랜드 와이어 터미널에 대한 초음파 용착 작업 시 발생하는 사례 및 문제로서 Telsonic PowerWheel® 시스템이 솔루션을 제공할 수 있는 추가적인 예들입니다.

- ① 튜브형 케이블 러그가 포함된 고전압 케이블 세트 - PowerWheel®을 사용해 용착이 가능한 것으로 입증되었습니다.
- ② 차폐 케이블 - 커넥터의 표면적이 제한적인 경우에도 좁은 용착 부위에서 최대 200mm²의 대형 케이블 작업이 가능합니다.
- ③ 짧은 케이블을 양단 모두 용착하는 경우 - 짧은 케이블을 양단 모두에서 선형 방식으로 용착할 경우 진동으로 인해 이미 완료된 부위가 약해질 위험이 있습니다. Torsional welding은 훨씬 적은 진동을 발생시키므로 4in.만큼 짧은 케이블을 용착시킬 수도 있습니다.
- ④ 3D 터미널 - PowerWheel®은 용착 부위에 대한 접근을 더 용이하게 합니다.
- ⑤ AI 케이블이 있는 고전력 잠금 상자 단자 - 로알 파워 솔루션 터미널(이 사례의 경우 SQ4)은 높이가 약 17mm입니다.
이러한 용착 부위에 접근하려면 PowerWheel®이 바로 그 솔루션입니다.
- ⑥ 두 가닥의 꼬인 와이어로 된 터미널 - 꼬인 형태의 와이어는 엄청나게 미세한 가닥을 가지고 있기 때문에 부드러운 비틀림 진동이 아니라면 손상되기 십상입니다.

급속히 성장하는 혁신적인 전기차 시장은 새로운 과제들을 해결할 수 있는 솔루션을 요구하고 있습니다. Torsional welding은 이러한 시장에서 중요한 접합 기술로 자리잡았습니다. 다양한 커넥터가 포함된 배터리 케이블의 종단 작업을 위한 솔루션 외에도, 이 기술은 전기차 중량 제어, 배터리 포장, 버스 바, 배터리 제조 및 파워 일렉트로닉스를 위한 용착 솔루션을 제공합니다. 이전에는 상상조차 할 수 없었던 적용 분야까지 그 용도가 확대되고 있습니다. 제품 설계자들과 프로세스 엔지니어들이 지속적으로 연구해나가고 있는 이 Torsional welding 공정을 통해 전기차 산업의 발전이 앞으로 더욱 박차를 가할 것입니다.



06 사이드 모가담
(Saeed Mogadam)
TELSONIC
Solutions, LLC