



데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오도할 수 있습니다

개요

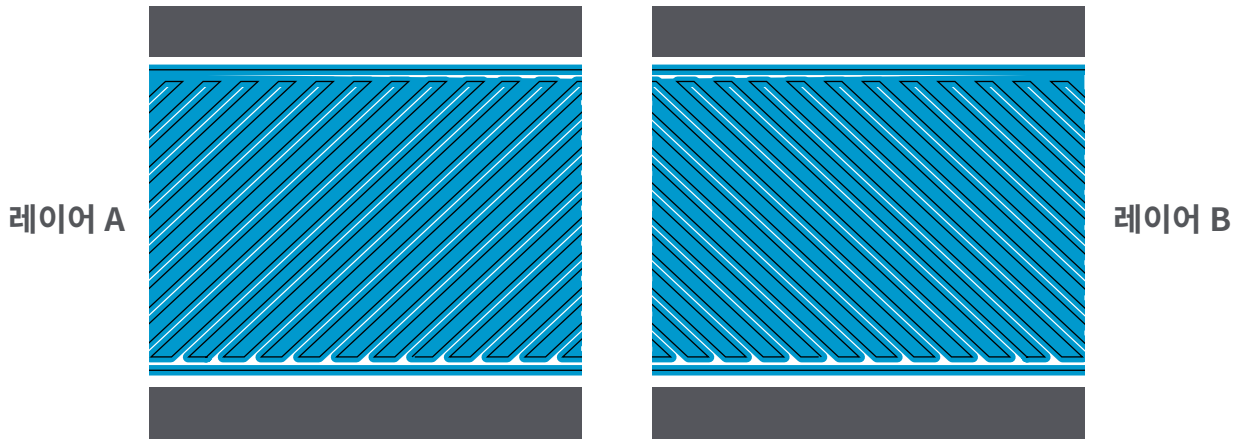
이 백서는 Stratasys 내부 테스트에서 반대로 입증된 FFF(용융 필라멘트 제작) 경쟁사의 소재 특성 우수성에 대한 주장에서 비롯되었습니다. 발표된 사양과 실제로 밝혀진 사양 간의 이러한 불일치는 Stratasys 테스트 방법과 경쟁사 방법 사이의 기계 테스트 시편 톨패스 및 빌드 방향 차이에서 비롯됩니다. Stratasys에서 사용하는 표준 톨패스에서 경쟁사가 사용하는 최적화된 단방향 톨패스로 전환했을 때, Stratasys FDM® Nylon-CF10은 실제 발표된 사양보다 열 변형 온도(HDT)가 160%, 인장 탄성률이 152%, 인장 항복 강도가 94% 증가했습니다. 단방향 톨패스를 사용한 프린팅 기계 샘플은 탄소 섬유 충전 소재의 최대 강도를 표시하는 데 적합하지만 일반적인 FFF 부품 내의 소재 강도를 나타내지는 않습니다.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오토할 수 있습니다

소개

Stratasys에서는 일관되고 투명한 방식으로 기계적 특성을 테스트합니다([FDM에 대한 표준 테스트 절차는 Stratasys 소재 테스트 절차 참조](#)). 툼패스는 레이어가 서로에 대해 "45°/-45°" 방향에 있는 기본 툼패스 생성을 따릅니다. 따라서 첫 번째 래스터 레이어는 **XY** 평면에서 45°이고 다음 레이어는 해당 레이어와 수직입니다(-45°). 간단한 직사각형 형상의 경우 **Figure 1**의 레이어 A와 레이어 B 사이에 번갈아 적용됩니다. 45°/-45° 래스터로 기계적 특성을 테스트하면 **XY** 평면에서 등방성 성능이 향상되며 제조에 사용되는 툼패스와 같은 대형 부품에 사용되는 툼패스를 나타냅니다.

Stratasys 기계 테스트 툼패스



경쟁사 기계 테스트 툼패스

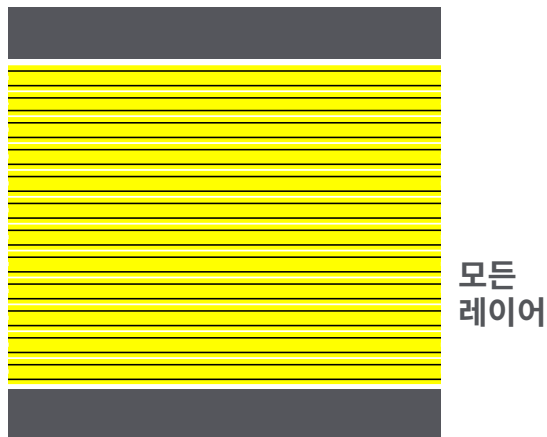


그림 1 - Stratasys와 경쟁사 기계 테스트 툼패스의 차이점. Stratasys에는 레이어 간 수직 오프셋이 있는 45° 각도의 래스터가 있습니다. 경쟁사에는 모든 레이어에서 동일한 단방향 툼패스가 있습니다.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오도할 수 있습니다

Stratasys FDM 부품을 제작할 때 레이어가 한 번에 하나씩 추가되므로 **XY** 평면에 비해 레이어 간 결합이 감소하고 수직(**Z**) 방향의 강도가 감소합니다. Nylon-CF10 또는 ABS-CF10와 같은 충전 소재를 프린트할 때 탄소 섬유가 톨패스에서 정렬되고 **XY** 평면 내의 강도가 증가함에 따라 이 현상이 강조됩니다. Stratasys는 가장자리(**XZ**) 및 수직(**ZX**) 방향에서 기계적 특성을 테스트합니다(그림 2 참조). 수직(**ZX**) 데이터를 표시하여 가장 약한 조건이 표시되므로 '최악의 경우' 기계적 성능에 대한 지식을 바탕으로 부품을 설계하여 넉넉한 안전 여유를 확보할 수 있습니다.

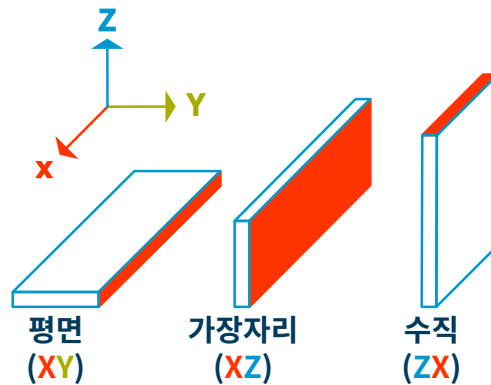
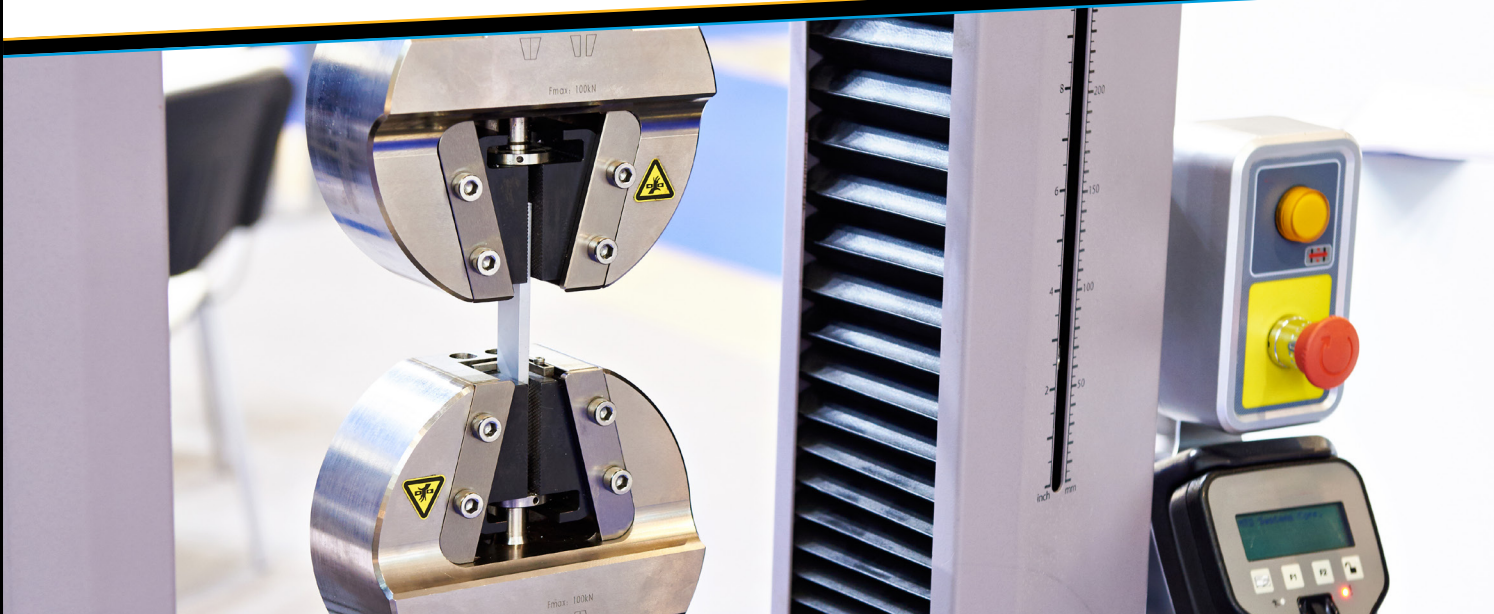


그림 2 - 프린트 방향.

경쟁사의 FFF 제조업체는 테스트 설정에 최적화된 톨패스에서 기계적 및 물리적 특성을 선택하여 제시하는 경향이 있습니다. 예를 들어 경쟁사는 단방향 톨패스를 사용한 평면(**XY**) 방향에 대해서만 데이터를 제공합니다(그림 1 참조). 충전 소재를 사용하면 정렬된 탄소 섬유가 **XY** 빌드 평면 내에서 강도를 높이도록 지원합니다. 이 톨패스 최적화 방법은 충전 소재의 최대 강도를 표시하는 데 적합하지만 일반적인 부품 톨패스 및 강도를 나타내지 않으므로 주의해서 사용해야 합니다.

Stratasys는 단방향 톨패스의 향상된 성능을 보여주기 위해 ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 열 변형 온도(HDT), 굴곡, 인장 및 파단 연신율 샘플을 프린트했습니다. 이 백서는 단방향 톨패스를 사용할 때 소재의 절차와 향상된 성능을 보여줍니다.



데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오도할 수 있습니다

테스트 절차

Insight™ 소프트웨어는 HDT, 인장, 굴곡 및 충격 테스트 시편에 대한 단방향 툴패스로 빌드 파일을 준비하는 데 사용되었습니다. 시편은 ABS-CF10 및 Nylon-CF10 소재 모두에 대해 준비했습니다. 처리 매개 변수 및 테스트 방법에 대한 자세한 내용은 아래 하위 섹션에서 확인할 수 있습니다. 별도로 지정하지 않는 한, 기본 처리 매개 변수 및 표준을 따랐습니다. 표준 45°/-45° 래스터를 사용한 이러한 소재의 비교 샘플은 [Stratasys 소재 테스트 절차](#)의 절차에 따라 파일 처리를 수행했습니다.

모든 빌드 팩은 Stratasys 소재 테스트 절차의 프로세스를 사용하여 Control Center™ 소프트웨어로 생성되었습니다. ABS-CF10 샘플은 F370°에서 생산되었으며 Nylon-CF10 샘플은 F370°CR에서 생산되었습니다. 각 소재 유형의 경우, 모든 소재는 동일한 로트에서 나왔습니다. QSR Support™를 두 모델 소재 모두에 사용했습니다. Nylon-CF10 샘플은 4~6시간 동안 탱크에 넣어 QSR 서포트를 제거했습니다. 서포트 소재는 ABS-CF10 시편에서 수동으로 제거되었습니다.

인장, 굴곡 및 충격 시편의 경우 각 소재 및 툴패스 유형에 대해 10개의 시편을 테스트했습니다. HDT의 경우, 각 소재 및 압력[0.45MPa 및 1.8MPa(66 및 264psi)]에 대해 삼중 테스트를 수행했습니다. 이 연구의 물리적 및 기계적 테스트에 대한 자세한 내용은 다음과 같습니다.

소프트웨어 버전 및 테스트 장비의 전체 목록은 부록 A를 참조하십시오.

열 변형 온도 테스트

HDT 테스트 시편은 127mm x 12.7mm x 5.1mm(5in. x 0.5in. x 0.2in.) 샘플로, 단방향 툴패스를 사용하여 평면 (XY) 방향으로 프린트했습니다. 이를 위해 샘플은 [그림 3](#)과 같이 둥근 끝단으로 연결된 길이가 긴 샘플 두 개를 연결하여 연속 컨투어의 '경주 트랙'으로 제작되었습니다. 반원형 끝단은 [그림 3](#)에 표시된 위치에서 반원형 끝단을 제거하여 크기에 맞게 잘랐습니다.

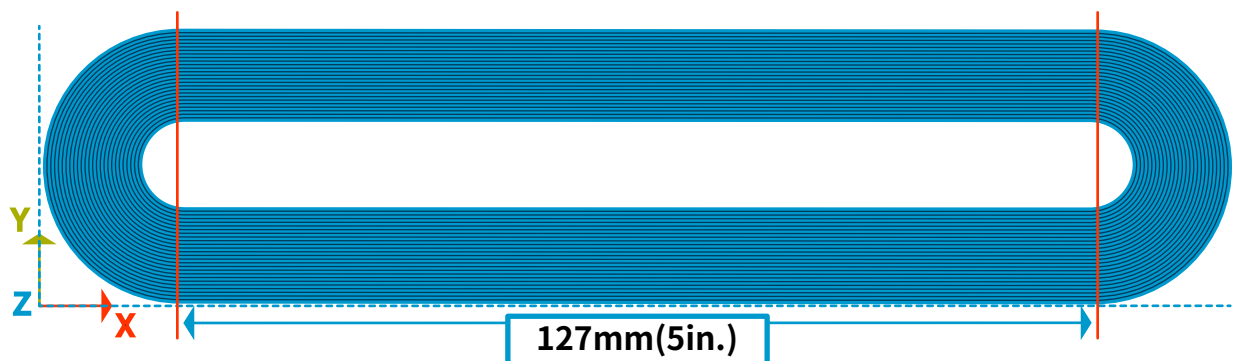


그림 3 - 연속 컨투어를 허용하기 위해 HDT 샘플 두 개가 연결된 경주 트랙. HDT 시편만 남기기 위해 반원을 잘랐습니다.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오토할 수 있습니다

Insight에서 처리하는 동안 컨투어 15개를 지정하고 컨투어 너비가 Nylon-CF10에 대해 0.0210인치, ABS-CF10에 대해 0.0208인치로 지정되도록 툴패스 매개 변수를 수정했습니다. 기본 컨투어 너비가 0.02인치일 때, 샘플의 중간에 작은 래스터가 나타났습니다(그림 4) 참조. Insight의 ABS-CF10 샘플 툴패스에 시각적으로 약간의 간격이 있지만, 인쇄할 때는 컨투어 너비가 0.0208인치로 줄어들 때까지 샘플이 상단 표면에 과충전을 나타냈습니다. HDT 샘플에 대한 Insight 설정의 예는 그림 5에 나와 있습니다.

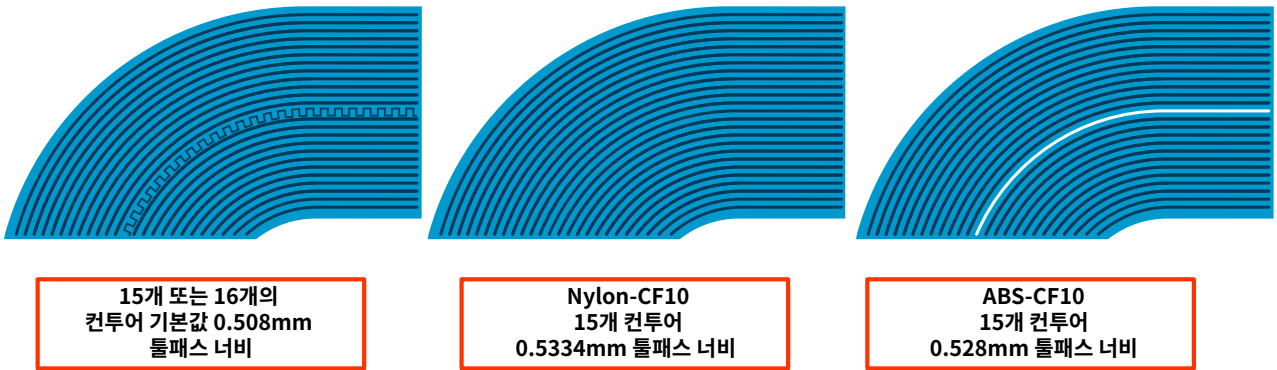
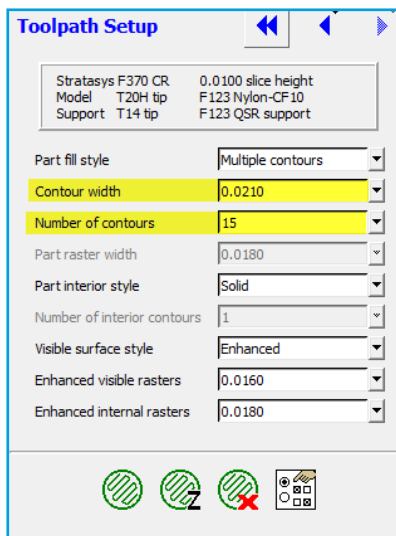


그림 4 - HDT 경주 트랙에서의 컨투어 예. 기본 컨투어 너비를 사용했을 때 샘플 중간에 작은 래스터 패턴이 있었습니다. ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 경우 완전 단방향 툴패스를 위해 컨투어 너비가 0.0008~0.0010"로 넓어졌습니다.



단방향 HDT 샘플은 0.45 및 1.8MPa(66 및 264 psi)에서 테스트되었습니다. ASTM D648 절차 B에 따라 스펠 길이 ~51mm(~2in.)로 소재 및 압력당 샘플 3개를 테스트했습니다. 모든 HDT 샘플은 테스트 전에 100mbar 미만의 진공 오븐에서 70 ± 0.5°C(158°F ± 0.9°F)에서 최소 16시간 동안 컨디셔닝되었습니다.

그림 5 - HDT에 대한 수정된 툴패스 매개 변수의 예. 수정된 매개 변수는 노란색으로 강조 표시됩니다.

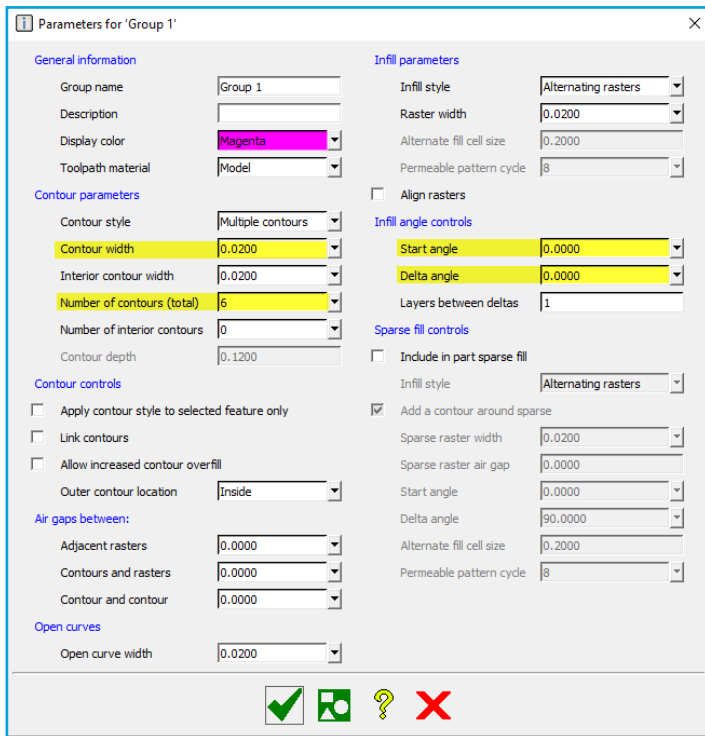
데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오토할 수 있습니다

인장 강도

인장 기계 테스트는 ASTM D638 유형 I 샘플, 두께 = 3.3mm(0.130in.)에서 수행되었습니다. 단방향 툴패스를 생성하기 위해 인장 시편의 모든 커브가 Insight의 맞춤형 그룹에 추가되었습니다. 쿠폰의 래스터 섹션이 교대 레이어에서 수직이 되지 않도록 방지하기 위해 델타 각도 0°을 적용할 수 있도록 맞춤형 그룹이 필요했습니다. 맞춤형 그룹 내에서 수정된 툴패스는 컨투어 6개와 시작 각도 0° 및 델타 각도 0°로 설정된 인필 각도 제어를 사용하였습니다. Nylon-CF10의 경우 컨투어 너비는 기본값인 0.508mm였습니다. ABS-CF10의 경우 기본값인 0.508mm에서 부품 외관이 과충전되어 컨투어 너비는 0.503mm였습니다. **그림 6**은 넥 영역에 대한 단방향 툴패스가 있는 인장 쿠폰의 툴패스를 보여줍니다. **그림 7**은 부품에 적용된 맞춤형 그룹 내에서 수정된 툴패스 매개 변수를 보여줍니다.



그림 6 - 목 영역 내에 단방향 툴패스가 있는 D638 인장 쿠폰의 툴패스.



인장 기계 테스트는 ASTM D638에 따라 5.08mm/분의 크로스 헤드 속도로 수행되었습니다. 인장 탄성률은 최대 하중의 15%에서 35%까지의 응력-변형 값에 따라 계산됩니다. 모든 샘플은 테스트 전에 23 ± 2°C(73°F ± 3.6°F) 및 50 ± 10% RH에서 최소 40시간 동안 컨디셔닝되었습니다.

그림 7 - 단방향 인장 쿠폰에 대한 맞춤형 그룹의 예. Nylon-CF10의 경우 수정된 매개 변수는 노란색으로 강조 표시됩니다.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오도할 수 있습니다

굴곡 강도

굴곡 기계 테스트는 ASTM D790 샘플, 10.2mm x 6.1mm x 152.4mm(0.4in. x 0.24in. x 6in.)에 대해 수행되었습니다. HDT 샘플과 마찬가지로 굴곡 강도 쿠폰은 컨투어만 있는 '경주 트랙'에서 생성되었으며 끝단은 나중에 잘렸습니다(그림 8 참조). 목적은 완전 충전 쿠폰을 만드는 것이므로 쿠폰을 채우기 위해 컨투어 너비를 약간 조정한 다음 프린트할 때 쿠폰이 과도하게 채워지면 줄였습니다. Insight에서 수정된 톨패스 매개 변수의 경우 컨투어는 10으로 설정되었으며 컨투어 너비는 Nylon-CF10의 경우 0.5105mm, ABS-CF10의 경우 0.509mm였습니다.

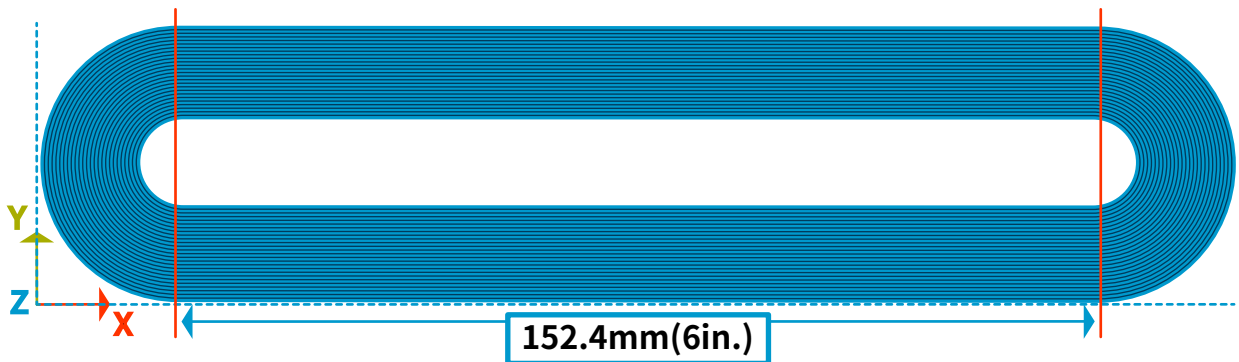


그림 8 - 연속 컨투어를 허용하기 위해 굴곡 샘플 두 개가 연결된 경주 트랙. 굴곡 시편만 남기기 위해 반원을 잘랐습니다.

스팬 길이가 최대 2인치이며 변형 속도가 0.01 in./in./분인 절차 A를 사용하여 ASTM D790 샘플에 대해 굴곡 기계 테스트를 수행했습니다. 모든 샘플은 테스트 전에 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73^\circ\text{F} \pm 3.6^\circ\text{F}$) 및 $50 \pm 10\%$ RH에서 최소 40시간 동안 컨디셔닝되었습니다.

충격 강도(노치)

충격 강도 샘플은 두께 = 3.175mm(0.125in)인 ASTM D256 샘플에서 수행되었습니다. 래스터 델타 각도를 0° 로 설정할 수 있도록 톨패스는 맞춤형 그룹이 있는 인장 시편과 유사하게 생성되었습니다. 맞춤형 그룹은 단일 컨투어, 솔리드 인필, 인필 각도 제어 시작 각도 0° 및 델타 각도 0° , 기본 컨투어 및 래스터 너비로 설정되었습니다. 그 결과 각 레이어에 그림 9와 같은 쿠폰 인필이 생성되었습니다.

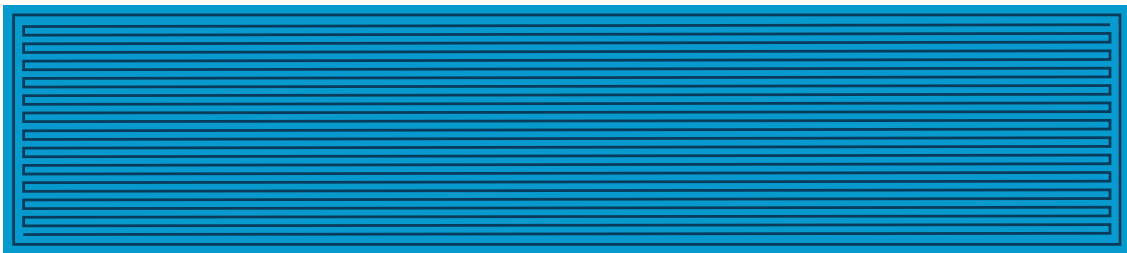


그림 9 - 단방향 충격 강도 시편의 톨패스.

충격 강도 노치 테스트는 ASTM D256에 따라 방법 A를 사용하여 2 또는 16.1ft*lb 진자 용량으로 수행되었습니다. 노치는 ASTM D256에 따라 프린트한 후 생성되었습니다. 모든 샘플은 테스트 전에 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73^\circ\text{F} \pm 3.6^\circ\text{F}$) 및 $50 \pm 10\%$ RH에서 최소 40시간 동안 컨디셔닝되었습니다.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오도할 수 있습니다

결과 및 분석

단방향 테스트 결과를 살펴보는 동안 Stratasys 소재 테스트 절차에 따라 테스트된 소재 데이터 시트 또는 기타 데이터 세트의 기존 데이터를 포함하여 기계적 성능과의 비교를 보여줍니다. 단방향 데이터에 대한 원시 데이터는 요청 시 제공됩니다. 야드파운드법 단위로 표기된 표는 **부록 B**에서 찾을 수 있습니다.

HDT 테스트

HDT는 소재가 하중 하에서 부드러워지거나 변형되기 시작하는 온도로, 내열성을 나타냅니다. 소재가 심각한 변형이나 파손 없이 견딜 수 있는 최대 온도를 결정하는 데 도움이 됩니다.

ABS-CF 및 Nylon-CF에 대한 HDT 데이터는 **표 1**에 나와 있습니다. ABS-CF10의 단방향 툄패스는 두 압력 모두에서 표준 45°/-45° 툄패스에 비해 점진적으로 증가합니다. Nylon-CF10은 단방향과 표준 툄패스 사이에서 약 160%의 상당한 증가를 보여줍니다. 또한 단방향 툄패스가 성형된 HDT 데이터보다 높다는 점도 주목할 만합니다. 탄소 섬유가 사출 성형 공정 중에 무작위로 분산되는 방식이 아니라 툄패스를 따라 이동하도록 정렬하면 HDT가 13%~40% 증가하여 달성됩니다.

	HDT(°C)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	낮음(0.45MPa)	높음(1.8MPa)	낮음(0.45MPa)	높음(1.8MPa)
단방향 툄패스(XY 방향)	117	112	153	133
표준 45°/-45 툄패스(XY 방향)	112	111	58	52
성형	100	99	109	105

표 1 - ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 HDT

인장 강도

인장 테스트는 시편이 파손될 때까지 시편의 끝단을 당겨 소재의 강도, 연성, 연신율을 평가합니다. 단방향 툄패스에 대한 인장 데이터는 **표 2**에 나와 있으며, 여기서 단방향 툄패스와 동일한 기계 및 소재 로트의 일반 45°/-45° 툄패스가 있는 **XY** 쿠폰에 대한 인장 데이터도 확인할 수 있습니다. 단방향 툄패스를 사용하면 두 소재 모두 인장 탄성률, 항복 강도 및 파단 응력이 증가하고 연신율 값이 감소합니다. 인장 하에서 축에 정렬된 탄소 섬유는 강도를 향상시키는 데 도움이 되지만 매트릭스 소재가 인장 축에서 늘어나는 능력을 감소시키기 때문에 이해가 가능한 결론입니다.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오히려 도울 수 있습니다

ABS-CF10의 경우 단방향 툄패스를 사용하면 표준 툄패스에 비해 항복 강도와 파단 응력이 25% 증가하고 탄성 계수가 71% 증가합니다. Nylon-CF10의 경우 단방향 툄패스를 통해 탄성 계수가 152% 증가하고 항복 강도가 94% 증가합니다.

또한 인장 데이터는 **그림 10**에 묘사된 바와 같이 비교적 엄격합니다. 단방향 툄패스를 사용하면 인장 항복 강도가 증가합니다. 표준 편차를 평균으로 나눈 값으로 정의되는 변동 계수(COV)는 **XY** 인장 데이터에 대한 모든 인장 탄성률 및 항복 강도에 대해 4% 미만입니다.

ABS-CF10의 경우 단방향 툄패스를 사용하면 표준 툄패스에 비해 항복 강도와 파단 응력이 25% 증가하고 탄성 계수가 71% 증가합니다. Nylon-CF10의 경우 단방향 툄패스를 통해 탄성 계수가 152% 증가하고 항복 강도가 94% 증가합니다.

툴패스	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	단방향	표준 45/-45	단방향	표준 45/-45
탄성 계수(GPa)	5.22	3.04	6.03	2.39
항복 강도(MPa)	44.9	35.8	68.1	35.1
항복 연신율(%)	1.2	3.0	4.0	5.6
파단 응력(MPa)	44.6	35.6	64.4	20.0
파단 연신율(%)	1.2	3.0	5.1	8.2

표 2 - XY 방향에서 ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 인장 데이터

툴패스에 영향을 받는 인장 항복 강도

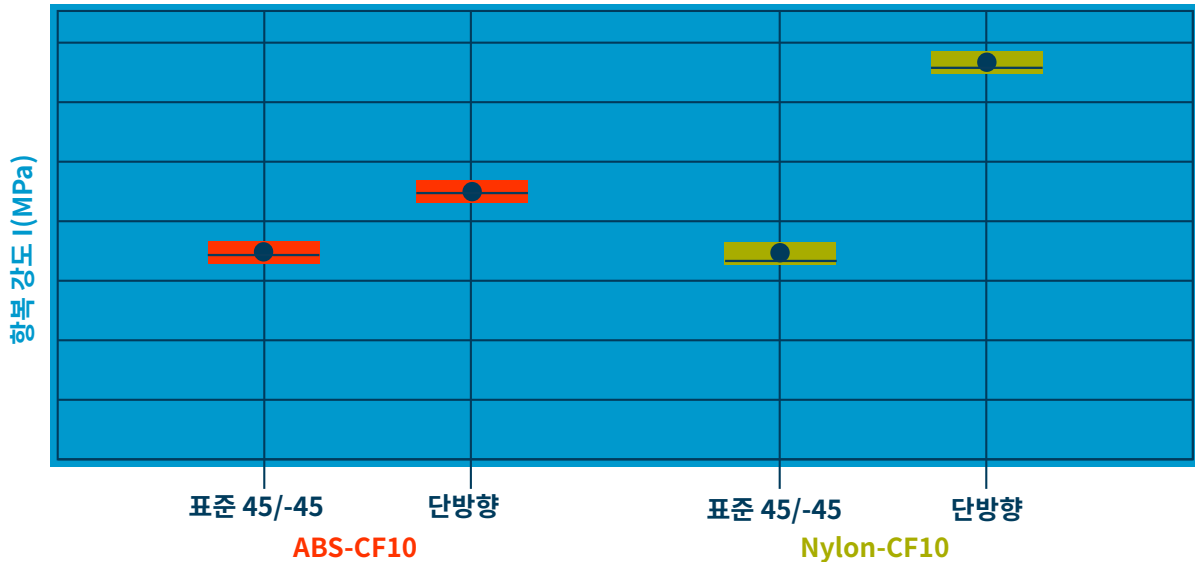


그림 10 - 단방향 툄패스를 사용하면 인장 항복 강도가 증가합니다.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오도할 수 있습니다

굴곡 강도

굴곡 강도 테스트는 3점 하중 구성에서 굽힘 또는 변형에 저항하는 소재의 능력을 평가합니다. 굽히는 힘이 가해질 때 파손 또는 균열에 저항하는 소재의 저항력을 나타내며, 구조적 무결성과 실제 응용 분야에서 하중을 견디는 능력에 대한 통찰력을 제공합니다. 단방향 굴곡 강도 데이터는 굴곡 강도를 포함하여 **그림 11**의 **표 3**에 나와 있습니다. 10개 샘플의 데이터는 각 소재의 굴곡 탄성률 및 굴곡 강도가 4% 미만인 COV에 대해 매우 반복 가능합니다.

단방향 툴패스 Nylon-CF10이 있는 XY 시편의 굴곡 강도		
	ABS-CF10	Nylon-CF10
탄성 계수(GPa)	4.96	6.96
파단 굴곡 변형률(%)	2.6	3.4
파단 굴곡 응력(MPa)	89.3	138.2

표 3 - 단방향 툴패스를 사용한 XY 방향에서 ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 굴곡 강도

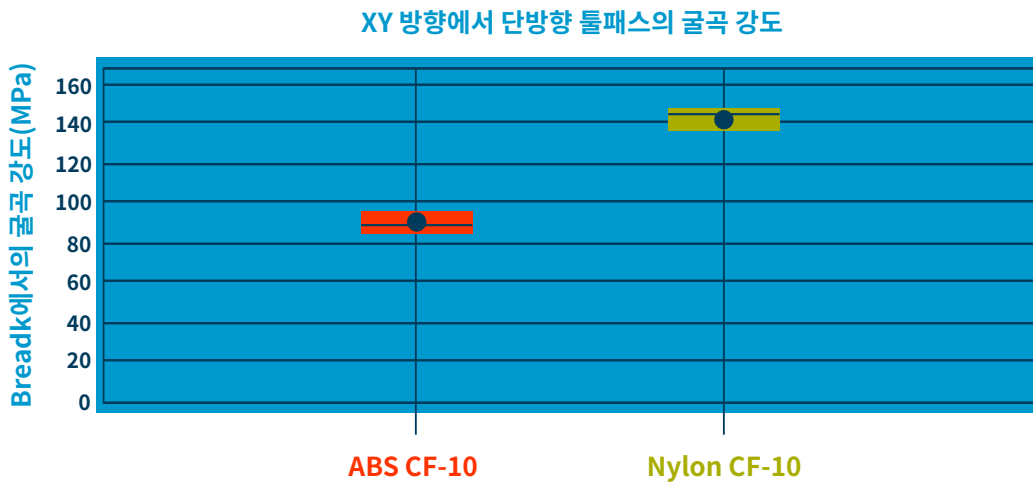


그림 11 - XY 방향에서 단방향 툴패스의 파단 굴곡 응력.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오토할 수 있습니다

충격 강도(노치)

충격 강도 테스트는 진자 충격을 받는 노치 시편을 파괴하는 데 필요한 에너지를 측정하여 소재의 내충격성을 평가하는 데 사용되는 방법입니다. 이는 갑작스러운 영향이나 충격 하중을 견딜 수 있는 소재의 능력을 나타내며, 인성 및 파괴 저항에 대한 통찰력을 제공합니다. 이 테스트는 충격 또는 동적 하중이 우려되는 응용 분야의 소재 선택에 유용하며, 선택한 소재가 치명적인 고장 없이 잠재적인 충격을 견딜 수 있는지 확인하는 데 도움이 됩니다.

표 4는 ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 충격 데이터를 포함합니다. 표준 톨패스의 데이터는 소재 데이터시트의 데이터입니다. 단방향 톨패스를 평면 방향으로 프린트하면 ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 보고된 최고 충격 강도가 각각 54% 및 26% 증가합니다. FDM의 경우, 층간 결합이 감소하면 수직(Z) 방향이 XY 평면보다 약해집니다. Stratasys가 단방향 데이터만 보고한다면 Nylon-CF10 충격 강도는 수직(XZ) 방향보다 7.5배 더 높고 ABS-CF10 충격 강도는 3.9배 더 높습니다. 이런 보고는 동적 하중이 우려되는 실제 부품에서 실제 소재 강도를 크게 잘못 표현할 수 있습니다. 부품을 설계할 때 적절한 설계 한계와 안전 계수를 보장하기 위해 Z 방향의 소재 강도도 고려해야 합니다.

평면 방향으로 단방향 톨패스를 프린트하면 ABS-CF10 충격 강도가 54% 증가하고 Nylon-CF10 충격 강도가 26% 증가하지만, 이는 수직 강도가 중요한 실제 부품의 실제 소재 강도를 잘못 나타낼 수 있습니다.

설계 사항을 적절하게 고려하려면 안전 및 기능에 대한 X, Y, Z 방향 강도를 모두 고려해야 합니다.

ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 충격 강도(J/m)			
프린트 배치 방향	톨패스	ABS-CF10	Nylon-CF10
평면(XY)	단방향	79.2	272
가장자리(XZ)	표준 45°/-45°	51.4	202
수직(ZX)	표준 45°/-45°	20.3	36.3

표 4 - 충격 강도 데이터

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오도할 수 있습니다

가장 가까운 경쟁사와의 비교

이 백서는 우수한 소재 특성을 보유했다는 경쟁사의 주장에서 비롯되었습니다. 단방향 툴패스로 소재를 테스트할 때 더 적절한 비교와 함께 더 명확한 그림을 제시할 수 있습니다. 예를 들어, 표 5는 ABS-CF10 및 Nylon-CF10에 대한 단방향 기계 데이터를 경쟁사가 보고한 기계 데이터 바로 옆에 요약합니다. 경쟁사 소재 데이터는 달리 명시되지 않는 한 경쟁사의 최신 소재 데이터시트(2022년 초 날짜)에서 직접 가져온 내용입니다.

표 5를 볼 때는 표시되는 데이터의 폭을 고려해야 합니다. 경쟁사 소재의 경우 각 데이터 포인트는 삼중 테스트를 나타내므로 샘플이 3개뿐입니다. ABS-CF10 및 Nylon CF10의 경우 HDT 테스트는 3개의 샘플을 나타내지만 인장, 굴곡, 충격 소재 특성은 시편 10개의 데이터를 포함합니다. Stratasys FDM 소재 데이터시트에 대한 일반적인 기계 테스트의 경우 데이터는 최소 시편 30개(기계 3개x쿠폰 10개)를 나타냅니다. 따라서 Stratasys 소재는 3배 더 많은 데이터로 표시되지만, 당사의 일반적인 소재 데이터시트는 해당 경쟁사에 비해 10배 더 많은 데이터를 포함합니다.

이 백서는 우수한 소재 특성을 보유했다는 경쟁사의 주장에서 비롯되었습니다. 단방향 툴패스로 소재를 테스트할 때 더 적절한 비교와 함께 더 명확한 그림을 제시할 수 있습니다.

인장 테스트 결과의 경우, Stratasys 소재는 인장 탄성률과 인장 강도가 더 높은 반면, 경쟁사 소재는 파단 연신율이 더 높습니다. 이것은 절충안입니다. 소재 강도와 힘이 가해질 때 변형을 견디는 능력을 증가시키면 늘어나는 능력의 양이 감소합니다. ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 인장 탄성률은 경쟁사 소재의 약 2배로, Stratasys 소재가 더 단단하며 더 적은 변형으로 더 큰 힘을 견딜 수 있음을 나타냅니다.

굴곡 테스트 결과의 경우 ABS-CF10 및 Nylon-CF10은 경쟁사 소재보다 굴곡 탄성률과 파단 응력이 더 큼니다. 이는 이러한 소재가 주어진 하중에 따른 변형이 적으면서도 3점 굽힘 하중을 더 잘 견뎌 나타냅니다. ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 탄소 섬유는 경쟁사의 소재보다 길기 때문에 주어진 하중 하에서 굴곡에 저항하는 데 도움이 됩니다.

HDT의 경우 0.45MPa에서 경쟁사 소재 데이터시트는 Nylon-CF10(153°C)보다 낮고 ABS-CF10(117°C)보다 높은 145°C를 보고합니다. 경쟁사는 1.8MPa 기준의 HDT 성능 데이터를 제공하지 않지만 Stratasys는 HDT에 대해 더 높은 압력에서 한 가지 소재를 테스트했습니다. 해당 소재의 경우, 1.8MPa에서의 HDT가 해당 소재의 낮은 압력으로부터 HDT 온도가 51% 감소한 71°C였습니다. ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 경우 압력이 높아져도 HDT 온도가 4% 및 13%만 감소합니다.

충격 강도의 경우 경쟁사 소재가 ABS-CF10 및 Nylon-CF10보다 높습니다. 동일한 테스트 방법론을 사용하여 경쟁사 소재와 비교하는 데 적합한 값이 나옵니다.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오토할 수 있습니다

Stratasys 소재와 경쟁사 소재 간의 기계적 및 물리적 특성 비교

	소재 속성	ABS-CF10	Nylon-CF10	경쟁사 소재 1	경쟁사 소재 2
인장 ²	탄성 계수(GPa) ¹	5.22	6.03	2.4	3.0
	항복 강도(MPa)	44.9	68.1	40	41
	항복 연신율(%)	1.2	4.0	보고되지 않음	보고되지 않음
	파단 응력(MPa)	44.6	64.4	37	40
	파단 연신율(%)	1.2	5.1	25	18
굴곡	탄성 계수(GPa)	4.96	6.96	3.0	3.6
	파단 굴곡 강도(%)	2.6	3.4	보고되지 않음	보고되지 않음
	파단 굴곡 응력(MPa)	89.3	138	71	71
HDT	열 변형 온도 - 0.45MPa(°C)	117	153	145	145
	열 변형 온도 - 1.8MPa(°C)	112	133	105(Stratasys 연구소 테스트 ³)	보고되지 않음
영향	충격 강도 - 노치(J/m)	79.2	272	330	보고되지 않음

표 5-Stratasys 소재와 경쟁사 소재 간의 기계적 및 물리적 특성 비교

참고:

1. ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 인장 탄성률은 최대 하중의 15%에서 35%까지의 응력 변형 값으로 계산됩니다. 경쟁사 소재의 인장 탄성률 계산 범위는 알려져 있지 않습니다.
2. ABS-CF10 및 Nylon-CF10 샘플은 단방향 톨패스로 형성되도록 프린트되었습니다. 경쟁사 소재 인장 쿠폰은 모양에 맞게 절단되었습니다.
3. 경쟁사는 HDT 테스트에 대한 더 높은 압력을 보고하지 않습니다. Stratasys에서 경쟁사의 방법과 테스트를 거친 결과, 이것이 1.8MPa에 대한 값입니다. 0.45MPa에서 HDT에 대한 Stratasys 측정값은 경쟁사가 보고한 값과 매우 유사했습니다.

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오도할 수 있습니다

결론

툴패스가 기계적 및 물리적 특성에 미치는 영향이 크기 때문에 적층 제조 회사 고객은 소재 특성 간의 정확한 비교를 위해 제공되는 데이터를 면밀히 살펴봐야 합니다.

45°/-45° 표준 툴패스와 최적화된 단방향 툴패스 간에 전환한 결과 ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 소재 성능에 큰 변화를 확인할 수 있었습니다. HDT의 경우 Nylon-CF10은 툴패스를 변경하자 0.45MPa와 1.8MPa 모두에서 160% 증가한 것으로 나타났습니다. 인장 강도의 경우 ABS-CF10은 탄성 계수가 71% 증가했습니다. Nylon-CF10의 경우 단방향 툴패스를 통해 탄성 계수가 152% 증가했고 항복 강도가 94% 증가했습니다. 이는 강도 및 궁극적인 부품 성능에 대한 사소한 변화가 아니며 항상 최적화된 단방향 툴패스로 테스트되는 경쟁사 소재와 비교할 때 큰 차이로 이어집니다. 기계 테스트는 특히 설계 한계에 사용되는 경우 부품 형상을 대표하는 시편을 대상으로 수행해야 합니다. 가장 강한 방향으로 툴패스를 최적화하면 가능한 최대 강도가 표시되지만 실제 부품 강도와 일치하지 않을 수 있으므로 표준 테스트 방법으로 권장되지 않습니다.

부록 A - 소프트웨어 버전, 테스트 장비, 교정 이력

	ABS-CF10	Nylon-CF10
처리 소프트웨어	Insight 16.10(Build 4372)	
빌드 압축용 소프트웨어	Control Center 16.10(Build 4372)	
빌드용 프린터 S/N	D80022	D80005
프린터 백엔드 소프트웨어	2.5.5966.0	2.6.5976.0
소재 정보	PN: 333-90310 SN: 630755611 제조 날짜: 2022년 6월 4일 로트: 112995	PN: 333-90450 SN: 676936711 제조 날짜: 2023년 4월 13일 로트: 114590

표 6 - 소프트웨어 버전, 기계 정보, 소재 정보

테스트	장비	일련 번호	교정 날짜
인장 테스트	MTS 기준 43	5001678	6/15/2023
인장 로드셀	10kN 로드셀 LPS-104C	1010933	6/16/2023
신장계	2인치 신장계 634-28E-24	10574728	6/15/2023
굴곡 테스트	MTS 기준 43	5000462	6/14/2023
굴곡 로드셀	5kN 로드셀 LPS-503C	1021979	6/14/2023
HDT	DMA Q300	0800-1786	3/29/2023
충격 테스트	Tinuis Olsen 892 충격 테스터	195795	1/31/2023

표 7 - 테스트 장비 및 교정 날짜

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오토할 수 있습니다

부록 B - 영국식 단위 표

	HDT(°F)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
틀패스	낮음(66psi)	높음(264psi)	낮음(66psi)	높음(264psi)
단방향 틀패스(XY 방향)	242	233	307	271
표준 45/-45 틀패스(XY 방향)	234	233	136	126
성형	212	210	228	221

표 1 - ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 HDT(영국식 단위)

틀패스	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	단방향	표준 45/-45	단방향	표준 45/-45
탄성 계수(ksi)	756	441	875	347
항복 강도(psi)	6500	5200	9880	5100
항복 연신율(%)	1.2	3.0	4.0	5.6
파단 응력(psi)	6470	5170	9330	3230
파단 연신율(%)	1.2	3.0	5.1	8.2

표 2 - XY 방향에서 ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 인장 데이터(영국식 단위)

단방향 틀패스를 사용한 XY 시편의 굴곡 강도		
	ABS-CF10	Nylon-CF10
탄성 계수(ksi)	719	1010
파단 굴곡 변형률(%)	2.6	3.4
파단 굴곡 응력(ksi)	13.0	20.0

표 3 - 단방향 틀패스를 사용한 XY 방향에서 ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 굴곡 강도(영국식 단위)

ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 충격 강도(ft*lb/in)			
프린트 배치 방향	틀패스	ABS-CF10	Nylon-CF10
평면(XY)	단방향	1.48	5.10
가장자리(XZ)	표준 45°/-45°	0.962	3.79
수직(ZX)	표준 45°/-45°	0.381	0.68

표 4 - 충격 강도 데이터(영국식 단위)

데이터 시트 그 이상: 단방향 소재 테스트는 제조를 오토할 수 있습니다

	소재 속성	ABS-CF10	Nylon-CF10	경쟁사 소재 1	경쟁사 소재 2
인장 ²	탄성 계수(ksi) ¹	756	875	348	435
	항복 강도(psi)	6500	9880	5800	5950
	항복 연신율(%)	1.2	4.0	보고되지 않음	보고되지 않음
	파단 응력(psi)	6470	9330	5370	5800
	파단 연신율(%)	1.2	5.1	25	18
굴곡	탄성 계수(ksi)	719	1010	435	522
	파단 굴곡 강도(%)	2.6	3.4	보고되지 않음	보고되지 않음
	파단 굴곡 응력(psi)	13000	20000	10300	10300
HDT	열 변형 온도 - 66psi(°F)	243	307	293	293
	열 변형 온도 - 264psi(°F)	233	271	160(Stratasys 연구소 테스트 ³)	보고되지 않음
영향	충격 강도 - 노치 (ft*lb/in)	1.48	5.10	6.18	보고되지 않음

표 5-Stratasys 소재와 경쟁사 소재 간의 기계적 및 물리적 특성 비교(영국식 단위)

참고:

1. ABS-CF10 및 Nylon-CF10의 인장 탄성률은 최대 하중의 15%에서 35%까지의 응력 변형 값으로 계산됩니다. 경쟁사 소재의 인장 탄성률 계산 범위는 알려져 있지 않습니다.
2. ABS-CF10 및 Nylon-CF10 샘플은 단방향 틀패스로 형성되도록 프린트되었습니다. 경쟁사 소재 인장 쿠편은 모양에 맞게 절단되었습니다.
3. 경쟁사는 HDT 테스트에 대한 더 높은 압력을 보고하지 않습니다. Stratasys에서 경쟁사의 방법과 테스트를 거친 결과, 이것이 1.8MPa에 대한 값입니다. 0.45MPa에서 HDT에 대한 Stratasys 측정값은 경쟁사가 보고한 값과 매우 유사했습니다.

미국 - 본사
7665 Commerce Way
Eden Prairie, MN 55344, USA
+1 952 937 3000

이스라엘 - 본사
1 Holtzman St., Science Park
PO Box 2496
Rehovot 76124, Israel
+972 74 745 4000

stratasys.com
ISO 9001:2015 인증

유럽, 중동 및 아프리카
Airport Boulevard B 120
77836 Rheinmünster, Germany
+49 7229 7772 0

동남아시아
1F A3, Ninghui Plaza
No.718 Lingshi Road
Shanghai, China
전화: +86 21 3319 6000



문의하기.
www.stratasys.com/contact-us/locations

