formlabs

엔지니어링 레진

Tough 1500 Resin V2

딱딱하지만 폴리프로필렌과 맞먹을 만큼 단단하면서도 유연한 소재

폴리프로필렌의 인성, 규제 준수, 복원력이 필요한 프로토타입.

공장 현장에서 오래 두고 사용할 수 있도록 내충격성이 있는 지그와 고정구.

셀프 태핑 나사 보스와 스냅 핏과 같은 기능적 요소를 갖춘 튼튼하고 견고한 인클로저.

래치, 플렉셔, 댐퍼와 같은 유연한 메커니즘을 만들기 위해 강성과 연성이 결합되어야 하는 파트.

V2 **FLTO1502**

작성일 18/03/2025

개정판 05 17/10/2025

작성일 기준, 본 문서의 내용은 본사에 알려진 공식 정보와 일치합니다. 다만, Formlabs, Inc는 본 문서에 포함된 내용을 토대로 얻은 결과에 관해 어떠한 보증이나 책임을 지지 않습니다.

Tough 1500 Resin V2는 폴리프로필렌(PP)에 필적할 만한 강도, 강성, 인성을 겸비하고 복원력도 있는 소재로 균열, 충격, 파손에 대한 저항성이 뛰어납니다.

자체 태핑 나사와 스냅핏으로 이뤄진 유연한 메커니즘이든, 견고한 인클로저이든, 강성과 연성이 균형을 이루는 파트를 제작할 수 있습니다. Tough 1500 Resin V2는 기능성 프로토타입부터 최종 사용 지그와 고정구에 이르기까지, 광범위한 응용 분야에서 활용할 수 있습니다.

Tough 1500 Resin V2는 Form 4의 성능을 활용할 수 있도록 배합된 신규 소재로 파괴인성이 이전 버전보다 10배나 높습니다.

소재 물성 [1]			방법
	그린 [2]	**후경화** [3]	
인장 특성 [1]			방법
극한 인장 강도	30 MPa	34 MPa	ASTM D638-14
인장 탄성계수	1250 MPa	1460 MPa	ASTM D638-14
항복점 인장 강도	30 MPa	34 MPa	ASTM D638-14
항복점 연신율	5.6%	6.1%	ASTM D638-14
파단 시 연신율	210%	155%	ASTM D638-14
굴곡 특성 [1]			방법
굽힘 강도	26 MPa	41 MPa	ASTM D790-17
굽힘 탄성계수	900 MPa	1370 MPa	ASTM D790-17
인성 특성 [1]			방법
노치드 아이조드 충격강도	45 J/m	42 J/m	ASTM D256-10
언노치드 아이조드 충격강도	1080 J/m	910 J/m	ASTM D4812-11
노치드 샤르피 충격 강도	8.9 kJ/m^2	7.5 kJ/m^2	ISO 179-1
언노치드 샤르피 충격 강도	63 kJ/m^2	57 kJ/m^2	ISO 179-1
1/32”(0.79 mm) 두께에서가드너 충격 강도	7.0 J	5.9 J	ASTM D5420-21
1/16”(1.6 mm) 두께에서가드너 충격 강도	12.4 J	11.1 J	ASTM D5420-21
로스 플렉스 피로 특성	11000 사이클	8000 사이클	내부(23°C, 1 hz에서 30도 변형)
파괴 특성 [1]			방법
최대 응력 세기 계수(Kmax)	1.7 $MPa\text{-}m^{1/2}$	1.7 $MPa\text{-}m^{1/2}$	ASTM D5045-14
파괴 에너지(W_f)	1090 J/m^2	1011 J/m^2	ASTM D5045-14

소재 물성 [1]			방법
	그린 [2]	후경화 [3]	
열특성 [1]			방법
1.8 MPa 하중 시 열변형 온도	42 °C	53 °C	ASTM D648-16
0.45MPa 하중 시 열변형 온도	54 °C	66 °C	ASTM D648-16
열팽창 (0~150 °C)	116 µm/m/°C	99 µm/m/°C	ASTM E831-19
연소성	테스트 하지 않음	HB	UL 94
전기적 특성 [1]			방법
	후경화 [3]		
유전체 강도	23.4 kV/mm		ASTM D149-20
유전 상수(50 Hz)	4.5		ASTM D150(50 Hz)
유전 상수(1 kHz)	3.9		ASTM D150(1 kHz)
소산 계수(50 Hz)	0.018		ASTM D150(50 Hz)
소산 계수(1 kHz)	0.013		ASTM D150(1 kHz)
체적 저항	$2.91 * 10^{15}$ Ω · cm		ASTM D257-14
그 외의 특성 [1]			방법
쇼어 D 경도	76D		ASTM D2240
용적 밀도	1.12 g/mL		ASTM D792-20
25 °C에서 점도	1000 cP		ASTM D792-20
액체 밀도	1.02 g/mL		ASTM D792-20

생체적합성

Tough 1500 Resin은 ISO 10993-1에 따라 피부 접촉 기기로 평가되었으며 다음 생체 적합성 평가 항목에 대한 요구 사항을 통과했습니다.

ISO 표준	설명 [3,4]
ISO 10993-5	세포독성 없음
ISO 10993-10	자극 없음
ISO 10993-10	민감제 아님

화학적 호환성

프린팅된 1x1x1cm 정육면체를 각 용매에 24시간 이상 담근 후 측정한 무게 증가율입니다.

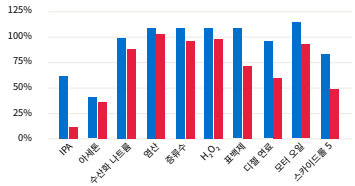
용매	24시간 무게 증가율, %	용매	24시간 무게 증가율, %
아세트산 5%	0.22	아이소옥탄(일명 휘발유)	42.92
아세톤	29.64	미네랄 오일(경광유)	0.02
이소프로필 알코올	6.54	미네랄 오일(중광유)	0.04
표백제 ~5% NaOCl	-0.05	소금물(3.5% NaCl)	0.24
부틸 아세테이트	41.35	수산화나트륨 용액(0.025% pH 10)	0.17
디젤 연료	0.04	물	0.21
디에틸 글리콜 모노메틸 에테르	5.71	자일렌	72.57
유압 오일	0.04	강산(농축 HCl)	2.15
스카이드롤 5	2.41	TPM	5.90
과산화수소(3%)	0.31		

화학적 호환성(ASTM D543)

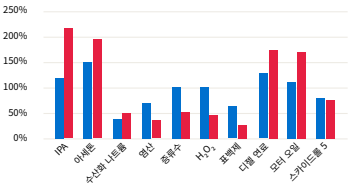
ASTM D543에 따라 화학적 호환성 테스트를 거쳤습니다. 다양한 화학 물질에 시간을 다르게 노출시킨 뒤 인장 탄성계수와 강도를 측정하는 방법으로 화학 물질의 영향을 테스트했습니다. 시험에 사용된 샘플은 용기에 보관했다가 테스트 화학 물질에 푹 잠긴 상태로 하루와 1주 동안 노출시켰습니다. 화학 물질에서 꺼낸 샘플은 세척 후 기계적 테스트를 실시하기 전에 22°C에서 24시간 동안 안정화했습니다. 기계적 테스트는 ASTM D638에 따라 표준 실험실 환경 조건(22°C)에서 실시했습니다. 결과는 노출되지 않은 샘플의 측정값과의 차이(%)로 보고합니다.

용매	IPA	아세톤	NaOH (0.025% pH=10)	HCl (10%)	DI Water	H_2O_2 (3%)	미백 (~5% NaOCl)	디젤 연료	모터 오일	스카이드롤 5
상대 탄성 계수										
1일	61.80%	41.01%	99.51%	109.90%	109.98%	110.37%	109.63%	95.71%	115.69%	83.62%
1주	12.37%	37.77%	88.99%	103.73%	97.23%	98.98%	72.70%	60.43%	93.11%	$49.99
상대 강도										
1일	55.66%	54.30%	98.98%	95.49%	99.62%	98.27%	96.26%	94.49%	98.46%	71.99%
1주	28.85%	49.48%	103.30%	101.11%	99.01%	98.84%	97.71%	63.33%	101.85%	$43.65
상대 연신율										
1일	118.46%	150.74%	39.05%	70.50%	103.07%	103.02%	63.63%	127.67%	109.53%	80.51%
1주	219.26%	196.33%	50.69%	35.01%	52.05%	44.92%	25.90%	176.95%	169.00%	74.90%
상대 질량										
1일	112.82%	141.98%	100.22%	100.22%	100.40%	100.41%	100.27%	104.30%	100.42%	108.49%
1주	135.80%	141.15%	100.23%	100.14%	100.51%	100.71%	100.24%	111.17%	99.95%	119.26%

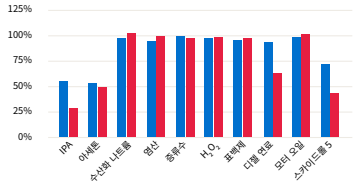
침지 시간 후 인장 탄성 계수



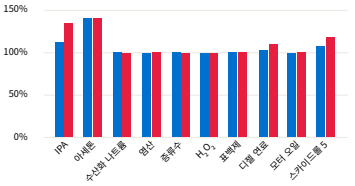
침지 시간 후 파단 시 연신율



침지 시간 후 극한 인장 강도



침지 시간 후 질량 흡수



● 1일 ● 1주

[1] 소재 특성은 파트 형상, 프린트 방향, 프린트 세팅, 온도에 따라 달라질 수 있습니다.

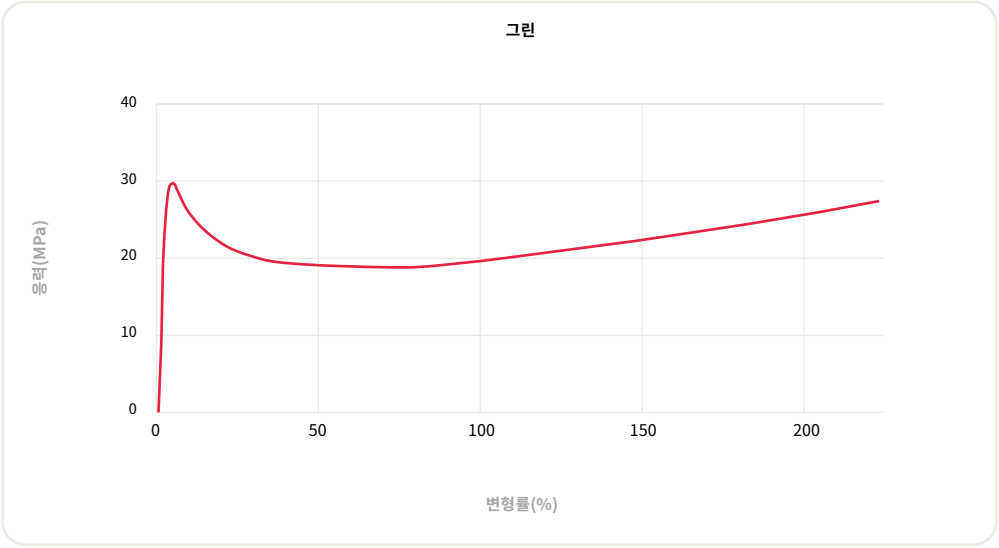
[2] 별도의 처리 없이 Form 4에서 100 µm, Tough 1500 V2 설정으로 프린트한 그린 파트에서 얻은 데이터입니다.

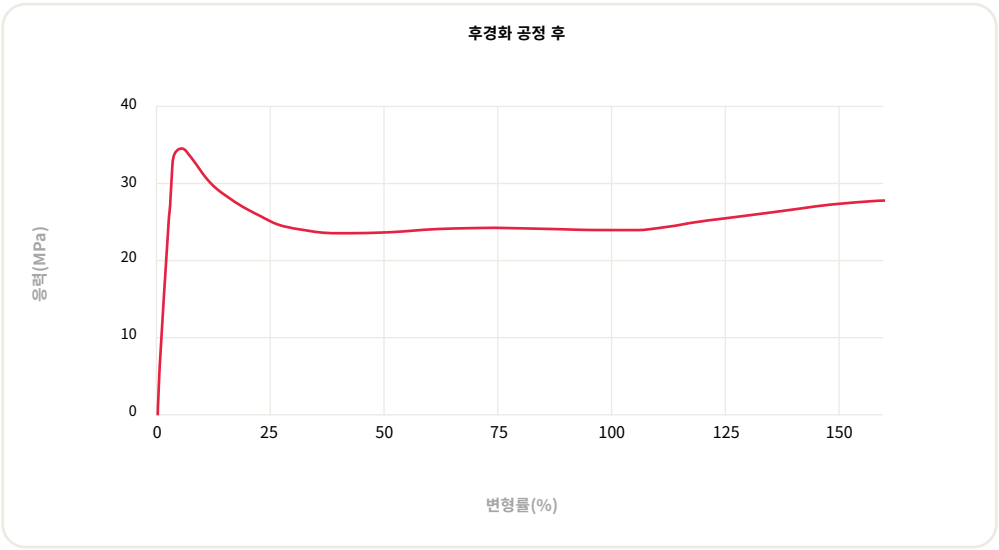
[3] ISO 10993 표준 테스트 샘플은 100um Tough 1500 Resin V2 설정으로 Form 4에서 프린트, 10분 동안 Form Wash로 세척(5분 세척, 5분 건조) 후 최소 30분 동안 건조했으며 Form Cure (2세대)에서 70°C에서 12분 동안 후 경화했습니다.

[4] Tough 1500 Resin은 미국 오하이오의 복미과학협회(NAMSA) 세계 본부에서 테스트했습니다.

대표 인장 곡선(ASTM D638-14)

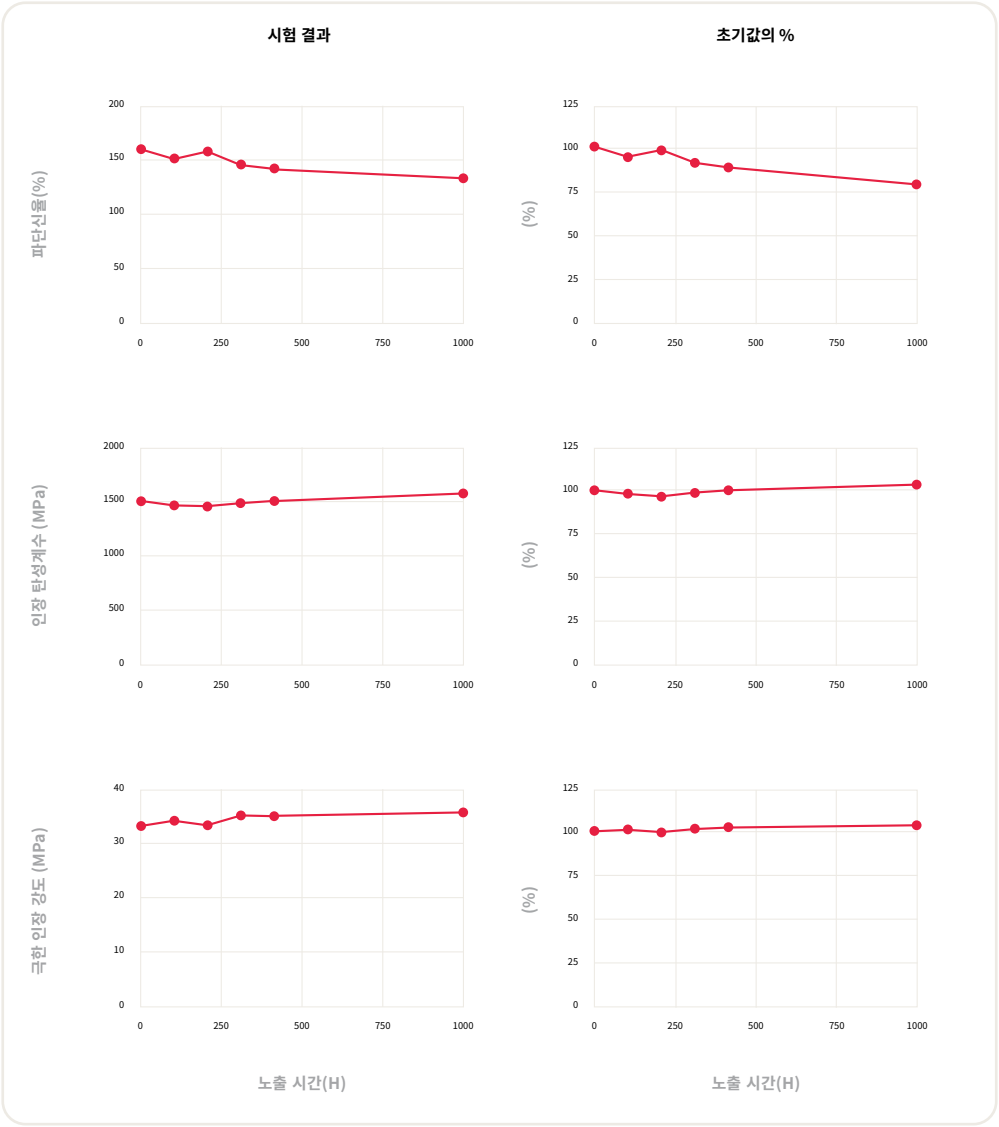
Type I, 50 mm/min





열 노화(ASTM D3045)

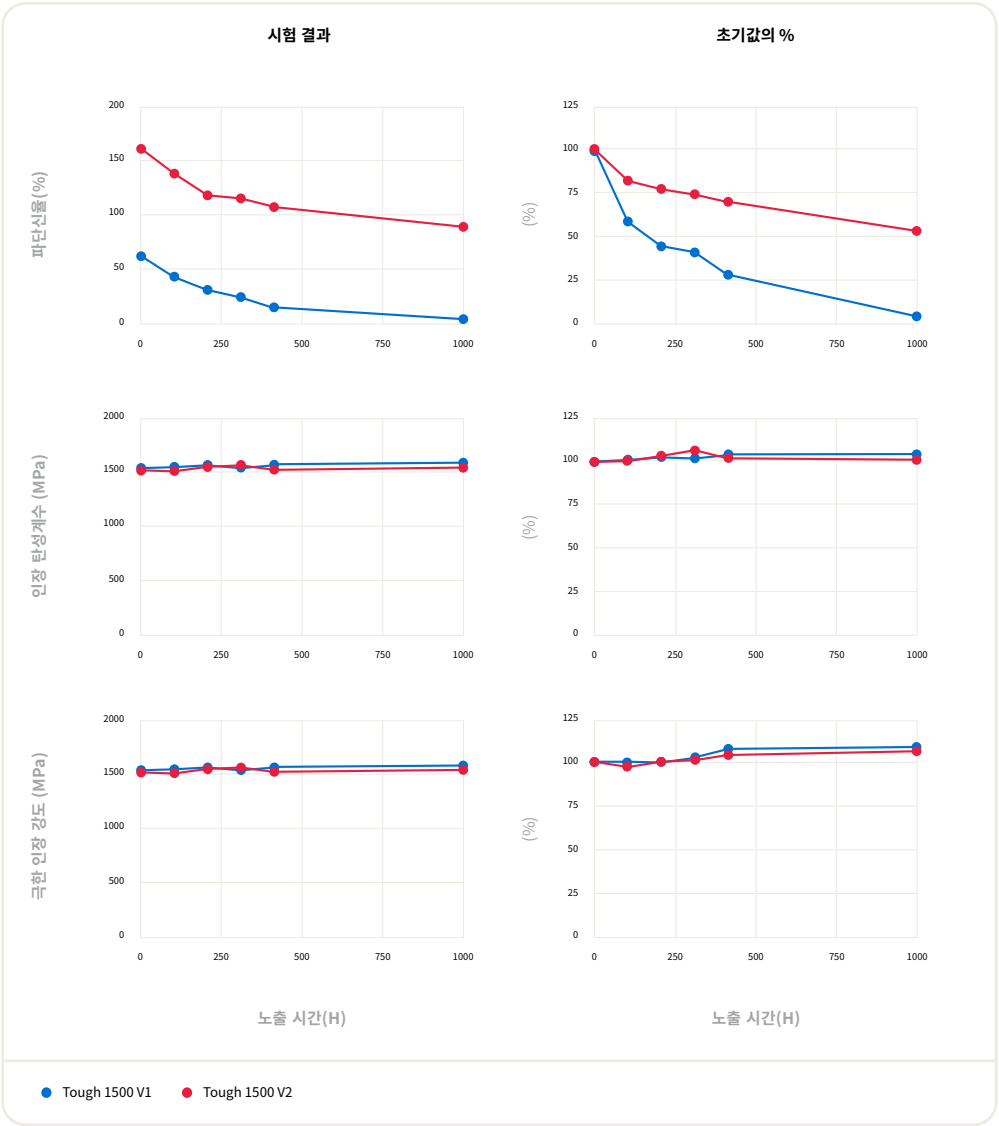
Formlabs은 플라스틱의 무부하 열 노화 평가 시험 방법인 ASTM D3045로 Tough 1500 Resin V2의 열노화 성능을 평가했습니다. 이 시험에서는 50 °C 또는 90 °C 환경에 배치된 샘플의 기계적 물성을 최장 6주까지 다양한 시간 동안 측정합니다.



실내 노화(ASTM D4459)

Formlabs은 실내 응용 분야에서 플라스틱의 제논 아크 노출에 대한 시험 표준인 ASTM D4459를 사용하여 Tough 1500 Resin V2의 UV 노화 성능을 평가했습니다. 유리를 투과한 태양광 방사 노출에 따른 폴리머의 열화를 시뮬레이션한 테스트입니다. 노출된 샘플은 기계적 테스트를 실시하기 전에 24시간 동안 22°C의 온도에 두었습니다. 대조 샘플은 22°C의 일정한 온도에서 보관되었습니다. 기계적 테스트는 ASTM D638에 따라 표준 실험실 조건(22 °C)에서 실시되었습니다. "0시간"은 22°C에서 보관하고 후처리 후 24시간 후에 테스트한 비노화 샘플을 의미합니다.

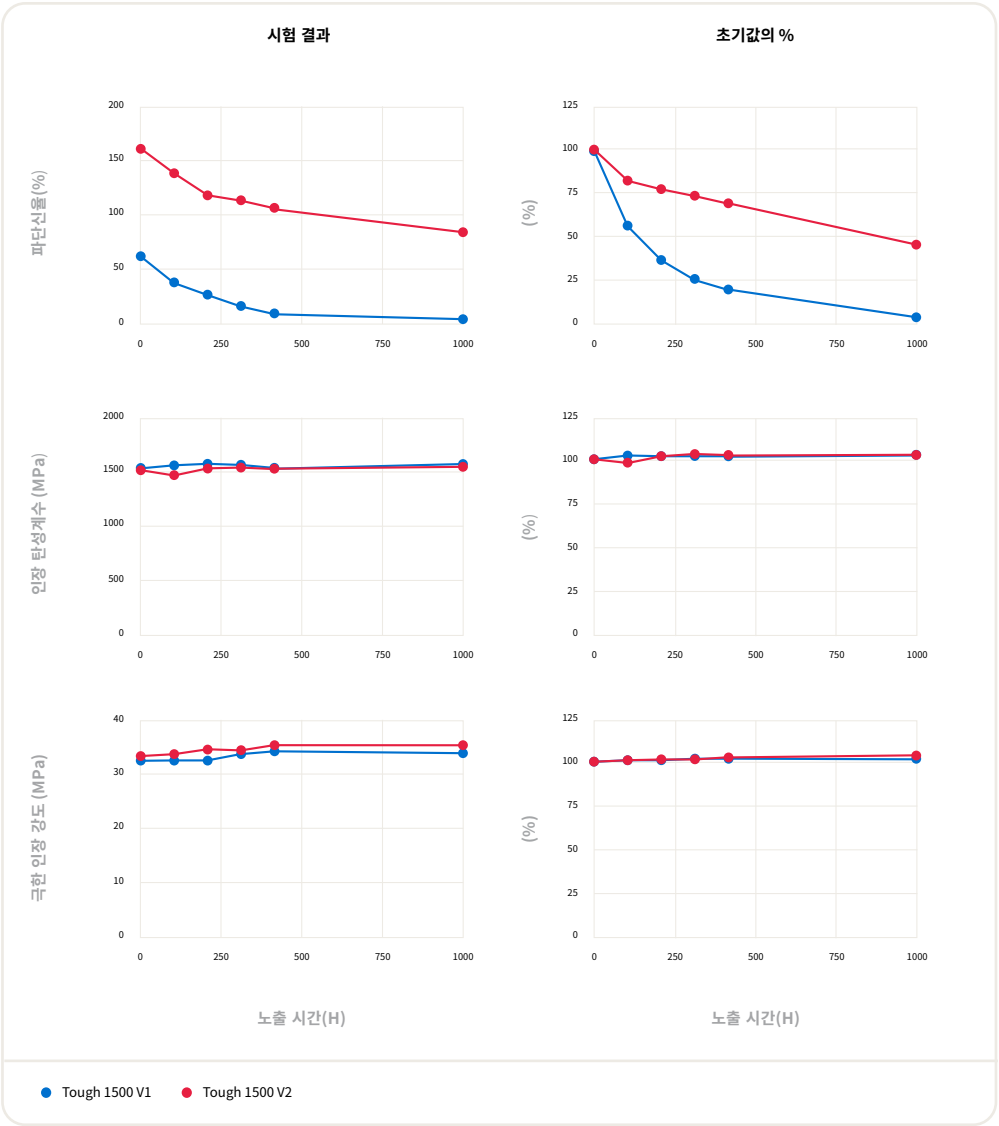
가속 풍화 시험은 모든 노화 조건을 완벽하게 반영할 수 없다는 점에 유의해 주세요.
Formlabs은 귀사의 특정 응용 분야 요구 사항에 맞춰 실외 테스트를 추가적으로 실시할 것을 권장합니다.



야외 노화(ASTM D4329)

Tough 1500 Resin V2를 ASTM D4329(사이클 A)에 따라 가속화된 야외 풍화 조건에서 테스트했습니다. 시험 샘플을 정의된 열, 물 응축 및 자외선 조건에 노출했습니다. 노출된 샘플은 기계적 테스트를 실시하기 전에 24시간 동안 22°C의 온도에 두었습니다. 대조 샘플은 22°C의 일정한 온도에서 보관했습니다. 기계적 테스트는 ASTM D638에 따라 표준 실험실 조건(22 °C)에서 실시되었습니다. "0시간"은 22°C에서 보관하고 후처리 후 24시간 후에 테스트한 비노화 샘플을 의미합니다.

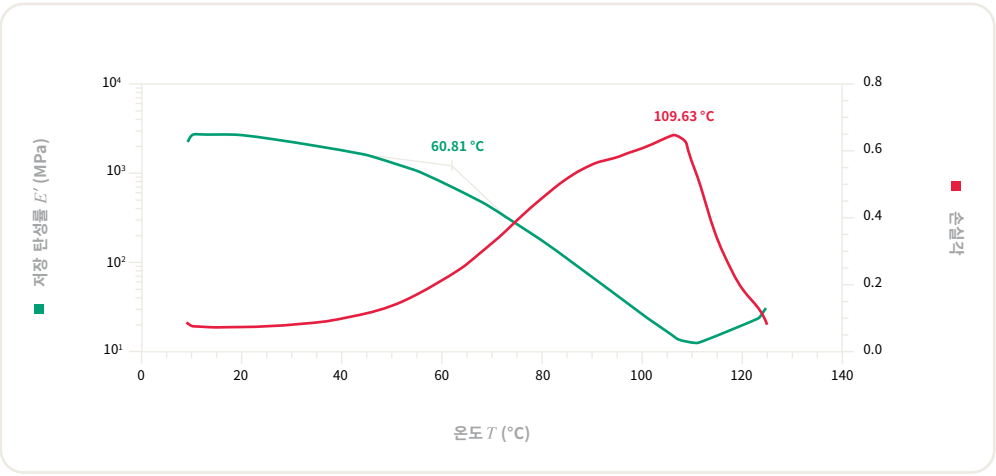
가속 풍화 시험은 모든 노화 조건을 완벽하게 반영할 수 없다는 점에 유의해 주세요.
Formlabs은 귀사의 특정 응용 분야 요구 사항에 맞춰 실외 테스트를 추가적으로 실시할 것을 권장합니다.



ASTM D4329: 일반 응용 분야용 사이클 A, QUV/se, UVA 340 nm, 0.89 W/m2-nm, 60°C에서 자외선을 8시간 조사 후 어둠 속에서 50°C에서 4시간 응축. 시험 시간 동안 샘플의 뒤틀림을 줄이기 위해, 샘플을 고정 클램프나 기계적 부하 없이 알루미늄 홀더에 끼워 넣었습니다. 테스트 전에 샘플에 수분이 과도하게 흡수되는 것을 방지하기 위해, 노출된 샘플은 항상 다음 응축 주기 전에 QUV에서 꺼내 두었습니다.

굽힘 크리프 ISO 6602

Formlabs은 ISO 6602를 기준으로 Tough 1500 Resin V2의 크리프 내성을 평가했습니다. 이 시험은 고정된 하중과 일정한 온도 조건에서 재료의 변형률을 측정합니다. 시편은 4.0MPa 하중 하에 22°C에서 테스트했습니다. 14일 동안 하루에 한 번씩 굽힘 변형을 측정했습니다.

동적 기계 분석(DMA)

3 °C/min에서 Tough 1500 Resin v2의 0 °C ~140 °C DMA 곡선이 보입니다. 유리 전이는 109.6°C에서, 저장(탄성) 계수의 변곡점은 60.8°C에서 관찰했습니다.