



공학전문석사 학위 연구보고서

고분자 물질의 열화에 따른 변형 거동 연구 : TV Stand 부분

Study Degradation of Mechanical Properties of Polymer : Application to TV Stand

2020년 02월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과 응용공학전공

김병훈

고분자 물질의 열화에 따른 변형 거동 연구 : TV Stand 부분

Study Degradation of Mechanical Properties of Polymer : Application to TV Stand

지도 교수 이 명 규

이 프로젝트 리포트를 공학전문석사 학위 연구보고서로 제출함 2020년 02월

> 서울대학교 공학전문대학원 응용공학과 응용공학전공 김 병 훈

김병훈의 공학전문석사 학위 연구보고서을 인준함 2020년 02월

위 원	[]] 장:	김	성	Ŷ	(인)
위	원:	٥	명	규	(인)
위	원:	최	인	석	(인)

국문 초록

한국의 LCD TV는 전 세계에 연간 수 천만 대씩 팔리고 있는 상품 중 하나이다. 전 세계 다양한 환경에서 TV를 사용하기에 기업들은 이 환경 요소를 고려한 품질 시험을 하고 있다. 특히 고온 환경에서의 TV 사용을 염려하여 고온 환경 설정을 진행하여 각종 신뢰성 시험을 하고 있다.

본 연구는 고온(60℃) 상태에서 TV Stand의 모델링을 바탕으로 열화에 따른 변 형 거동에 대한 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 고온에서의 고분자 물질(Polymer)의 탄성 계수뿐만 아니라 열가 소성수지가 가지고 있는 점탄성(Viscoelasticity)의 특성을 얻기 위해 인장시험과 응력완화(Stress Relaxation Test) 실험을 수행했다. 앞서 말한 신뢰성 시험을 염두 에 두어 상온은 25℃, 고온은 60℃로 진행하였고 인장시험 결과 값인 응력-변형률 곡선으로 탄성계수를 계산하고 고분자 물질은 Stand의 주재료 성분인 PC+ABS와 PC+ABS-GF20%를 비교하였다.

고분자 물질의 점탄성을 이용하기 위해 응력완화 실험 결과의 데이터를 정규화 해서 MATLAB을 이용하여 프로니 급수(Prony series)를 활용한 열화재료상수를 구했다. 해석은 유한요소 기법을 이용하는 Abaqus 상용해석 프로그램을 이용하였 다. 이 해석 결과로 특정 모델링에서의 고분자 물질의 재료와 온도에 따른 변형률, 응력, 변위의 변화 추이를 비교하였다. 특히 탄성값만을 고려했을 때와 점탄성을 함께 고려했을 때의 변위 변화량을 비교해 고온에서의 변형거동 해석 시 소재의 물성치 값에서 점탄성이 의미 있음을 밝혔다. 또한 해석결과의 최대응력을 온도에 따른 항복강도(Yield strength)와 비교하게 되면 TV Stand의 열화에 따른 변형에 대한 안정성을 검증할 수 있게 된다. 또한 항복 강도를 허용응력으로 두어 제품의 안전율을 감안한 설계 기준을 제시하였다.

주요어: 고분자(Polymer), 프로니 급수(Prony series), 점탄성(Viscoelasticity), 응력완화 시험(Stress Relaxation Test) **학 번**: 2018-28975

i

목차

국문초		i
제1장	서론	1
1.1	연구 배경	1
1.2	업계 연구 동향	2
1.3	연구 내용	3
1.4	TV의 신뢰성(고온·고습) 시험	4
1.5	점탄성(Viscoelasticity) 이론	7
제2장	소재의 기계적 특성	13
2.1	온도에 따른 인장시험	13
2.2	온도에 따른 응력완화 시험(Stress Relaxation Test)	18
제3장	열화에 의한 변형 해석	20
3.1	해석 모델링 설명	20
3.2	재료 물성	22
3.3	해석 결과 분석	28
3.4	실물 비교 검증	38
3.5	Yield Strength를 이용한 안전율 설계	41
제4장	결론	44
4.1	연구결과	44
4.2	고찰	45

표 목차

표 2.1	온도에 따른 기계적 특성 값	17
표 3.1	Finite element modeling of Stand	21
표 3.2	PC+ABS(25℃) 열화재료상수	24
표 3.3	PC+ABS(25℃) 열화재료상수의 정확성	24
표 3.4	PC+ABS(60℃) 열화재료상수	25
표 3.5	PC+ABS(60℃) 열화재료상수 정확성	25
표 3.6	PC+ABS-GF20%(25℃)열화재료상수	26
표 3.7	PC+ABS-GF20%(25℃)열화재료상수 정확성	26
표 3.8	PC+ABS-GF20%(60℃) 열화재료상수	27
표 3.9	PC+ABS-GF20%(60℃) 열화재료상수의 정확성	27
표 3.10	PC+ABS(25℃) 해석결과	34
표 3.11	PC+ABS(60℃) 해석결과	35
표 3.12	PC+ABS-GF20%(25℃) 해석결과	36
표 3.13	PC+ABS-GF20%(60℃) 해석결과	37
표 3.14	PC+ABS 항복강도와 온도에 따른 관계식 상수 값	42
표 3.15	PC+ABS-GF20% 항복강도와 온도에 따른 관계식 상수 값	43

그림 목차

그림 1.1	변화율의 온도 의존성(Temperature dependence of Rate)	7
그림 1.2	폴리머의 일반적인 모듈러스 온도맵	8
그림 1.3	다양한 일정 응력에서의 Creep 변형율	9
그림 1.4	Relaxation 반응의 측정값	10
그림 1.5	선형 점탄성 모델들	11
그림 2.1	인장시험 시편(ASTM D638)	13
그림 2.2	실험장비	14
그림 2.3	PC+ABS S-S Curve	15
그림 2.4	PC+ABS-GF20% S-S Curve	16
그림 2.5	PC+ABS 온도에 따른 Relaxation 시험 결과	19
그림 2.6	PC+ABS-GF20% 온도에 따른 Relaxation 시험 결과	19
그림 3.1	TV Set Stand Scene	20
그림 3.2	해석 Item 구속 조건	21
그림 3.3	유한요소 Mesh 반영 형상	21
그림 3.4	Relaxation Curve of PC+ABS $(25^{\circ}C)$	24
그림 3.5	Relaxation Curve of PC+ABS(60° C)	25
그림 3.6	Relaxation Curve of PC+ABS-GF20%(25° C)	26
그림 3.7	Relaxation Curve of PC+ABS-GF20%(60 $^{\circ}$ C)	27
그림 3.8	최대응력 측정 포인트	28
그림 3.9	시간의 변화에 따른 온도별 변위 변화 추이(PC+ABS)	30
그림 3.10	PC+ABS Strain-Stress Curve	31
그림 3.11	시간의 변화에 따른 온도별 변위 변화 추이(PC+ABS-GF20%)	
	32	
그림 3.12	PC+ABS-GF20% Strain-Stress Curve	33
그림 3.13	실물 TEST 시료	38

그림 3.14	환경챔버	39
그림 3.15	TV-SET(PC+ABS)의 변형량(θ) 측정 결과	40
그림 3.16	TV-SET(PC+ABS-GF20%)의 변형량(θ) 측정 결과	40
그림 3.17	PC+ABS의 온도에 따른 항복강도와 해석최대응력 비교	42
그림 3.18	PC+ABS-GF20%의 온도에 따른 항복강도와 해석최대응력 비	
	显	43

제1장서론

1.1 연구 배경

1980년 12월 1일 KBS TV 방송을 시작으로 방송이 컬러화 된 이후 한국의 TV 는 전 세계에 년간 수 천만 대씩 판매되고 있는 전자 상품이다. TV 부품의 구조 및 외관은 주로 고분자 물질(Polymer)로 구성되어 있다. 폴리머는 경량화와 우수 한 강도로 그 쓰임이 다양하고 많은 전자제품에 널리 쓰이고 있다. 이는 다양한 환경에서 오랫동안 사용됨에 따라 그 물성이 열화 될 수 있고 변형이 일어나거나 파손에 이르기도 한다. 이를 미리 검증하고 개선하기 위해 환경 챔버를 이용해서 고온 신뢰성 시험을 진행하게 된다. 결과를 알기까지 시간과 재원이 투자되기에 본 연구에서는 해석을 통해서 비교 검증할 수 있는 연구가 필요하게 되었다.

전자제품에 널리 이용되는 고분자 물질(Polymer)은 주로 PC와 ABS가 있다. PC 는 내열성이 크고, 저온 특성도 좋으며(135~-100℃), 빛에도 안정되어 있고, 가공 시의 산화가 적다. 전기특성이 뛰어나며, 투명하고, 치수안정성 및 내후성도 좋 으며, 흡수성도 작다. 또한 독성이 없고, 물, 강산에 강하다. 전기부품, 기계부품, 일용품(식품, 가스라이터, 화장품 용기), 보안용 헬멧 등에 널리 이용된다. ABS는 내충격성, 내약품성, 내후성 등이 뛰어나고, 특히 사출 성형, 압출 성형 등의 성형 성과 착색 등 2차 가공성이 우수하다. 또 다른 수지와의 상용성이 좋아 전자제품에 널리 사용되고 있다[13]. 또한 PC와 ABS의 장점을 이용한 PC+ABS 수지도 있다. 여기에 좀더 강도를 보강하기 위해 유리섬유인 GF(Glass Fiber)를 첨가하여 사용 한다. 그래서 본 연구에서는 TV의 무게를 지지하는 Stand의 재료인 PC+ABS와 PC+ABS-GF20%를 다룬다.

1.2 업계 연구 동향

자동차 내장 부품재에도 폴리머 소재를 많이 사용하고 특히 엔진쪽은 100℃ 이 상의 고온의 환경이 형성되기에 일찍이 차량용 플라스틱 부품의 열화물성을 고려 한 신뢰성 검토 연구가 활발히 되고 있다. 주 소재는 내장재 이기에 아무래도 외관 보다는 강성을 고려한 치수 안정성이 좋은 PP(polypropylene)나 PA(polyamide)가 연구가 되었다.

전자제품 특히 TV에서는 Stand가 TV의 무게를 온전히 지지하게 되는데 소비자 가 직접 마주하는 외관 품이기에 소재는 PC+ABS가 많이 사용되었다. TV의 대형 화 추세가 되면서 강성 보강이 요구되었고 Glass-Fiber를 함유한 PC+ABS-GF20% 를 사용하게 되었다. 다양한 환경에서 TV 시청이 되고 남반구나 적도지방 근처에 서는 고온(60℃) 의 환경에도 TV가 노출된다. 특히 컨테이너 실려서 바다를 지날 때면 그 내부 온도가 고온(60℃)에 노출 된다. 이에 TV 제조 업체에서는 고온 환 경에서의 신뢰성 시험을 하게 되었다. 현재는 실제 시험을 통해서 그 결과를 보고 있기에 사전에 시뮬레이션 할 수 있는 열화 물성을 고려한 신뢰성 기반 설계 해석의 필요성을 느끼게 되었다. 이 연구의 해석 결과를 통해 점탄성 물성치의 중요성과 폴리머 소재의 설계 안정성을 제시해 보았다.

1.3 연구 내용

본 연구에서는 고분자 물질이 주재료인 TV Stand의 열화에 따른 변형거동 해 석을 통해 안정성 비교 검증을 하는데 주목적이 있다. 온도는 상온 25℃와 고온 60℃를 비교하였고 재료는 PC+ABS와 PC+ABS-GF20%를 비교하였다. 우선 고분 자 물질의 기계적 특성을 알기 위해 온도에 따른 인장 시험을 진행하여 탄성계수와 항복강도를 구했고 고분자 물질의 특성인 점탄성의 물성치를 구하기 위하여 응력 완화 시험을 진행하였다. 이 실험에 대한 내용은 2장에서 자세하게 설명이 되어 있다.

모델링 해석을 위해서 유한요소를 이용하는 Abaqus 상용 프로그램을 이용하였 고 여기에 소재에 대한 정의를 위해서 고유 물성치 값이 주어져야 하고 특히 점탄성 (Viscoelasticity)이 반드시 들어가야 한다. 이를 위해 2장 실험에서 구한 응력 완화 시험의 결과값을 프로니 급수(Prony series)를 이용하여 열화재료 상수를 구했다. 이렇게 나온 해석결과를 토대로 고분자 물질의 열화에 따른 변형률, 응력, 변위를 시간의 흐름에 따라 어떻게 거동을 하는지 비교 검토하였다. 그리고 탄성값만을 고려했을 때와 점탄성을 함께 고려했을 때의 변위 변화량을 비교했다. 또한 항복 강도(Yield Strength)를 허용응력으로 두어 안전계수와 함께 안전율을 비교하였다.

1.4 TV의 신뢰성(고온·고습) 시험

스웨덴의 화학자 아레니우스(Arrhenius, 1927)가 액체, 기체 또는 고체가 화학 반응을 할 때 발생하는 활성화 에너지와 온도의 반응율을 이용한 연구를 진행한 이후 가속수명시험에서 가속 스트레스가 온도인 경우에 아레니우스 모델을 많이 사용한다 (식1.1). 화학적 반응에 의한 수명(t)는 반응속도(R)와 역비례 (식1.2)하 며 이를 보면 아레니우스(Arrhenius) 관계에서는 활성화 에너지와 온도 값만 알면 가속계수를 구할 수 있음을 알 수 있다. 그 수식은 아래와 같다[3].

$$R(T) = A' \cdot e^{(-E/kT)} \tag{1.1}$$

$$t \propto 1/R\left(T\right) \tag{1.2}$$

R(T): 온도 T에서의 반응속도(온도 T에서의 신뢰도가 아님) A': 재료의 물성과 시험조건에 따른 상수(온도와 상관없음) E: 활성화 에너지(activation energy), 단위는 eV(electron volt, 전자볼트) k: 볼츠만 상수 (8.6171 × 10⁻⁵ eV/K) T: 절대온도(K) t: 수명 여기에 습도 인자를 더한 온·습도 모형은 펙(peck, 1986)이 제안한 고온 고습에 따른 가속수명시험 모형으로, 특히 PEM(Plastic Encapsulated Microcircuits)수명을 모형화 하는 데 널리 사용된다. 온·습도 모형을 수명-스트레스 관계식으로 적용하 는 경우 가속계수는(식1.3) 다음과 같다. 이를 보면 활성화 에너지와 시험조건에 따른 온도와 습도 그리고 모수만 안다면 가속계수를 구할 수 있다[3].

$$AF = \frac{L\left(T_d, RH_d\right)}{L\left(T_a, RH_a\right)} = e^{\frac{E}{k}\left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a}\right)} \cdot \left(\frac{RH_d}{RH_a}\right)^{-\gamma}$$
(1.3)

L(*T_d*, *RH_d*) : 정상 사용조건에서의 수명 또는 수명분포의 모수 L(*T_a*, *RH_a*) : 가속조건에서의 수명 또는 수명분포의 모수 *T_d* : 정상 사용조건에서의 절대온도(°K)(섭씨온도+273℃) *T_a* : 가속조건에서의 절대온도(°K)(섭씨온도+273℃) *RH_d* : 정상 사용조건에서의 상대습도(%) *RH_a* : 가속조건에서의 상대습도(%) *RH*, *T* : 상대습도(%)와 절대온도(°K)(섭씨온도+273℃) *E* : 활성화 에너지(단위 : eV) k : 볼츠만 상수 (8.6171 × 10⁻⁵eV/K) γ : 재료의 물성과 시험조건에 따른 모수 TV에서 제품의 사용 환경에 따라서 발생할 수 있는 부식 및 고온고습 수명시험 내성을 평가하고 있다. TV에서의 고온고습 수명시험의 경우 고온고습에 따른 수 명시험 모형(식1.3)을 기반으로 해서 가속계수 설정하고 시험을 하고 있다. 이때 시험 후 TV SET의 기울기 정도(Stand의 변형)에 따라 신뢰성을 보고 있다. 활성화 에너지 E 는 0.6 (eV) 이고 모수 γ 는 3 으로 하고 진행한다. (식1.3)을 이용해서 TV 고온고습 시험 환경에서의 가속화 계수를 구하면 다음(식1.4)과 같다.

 $\mathbf{RH}_d = 50, RH_a = 90$

$$AF = \frac{L(T_d, RH_d)}{L(T_a, RH_a)}$$

= $e^{\frac{E}{k} \left(\frac{1}{T_d} - \frac{1}{T_a}\right)} \cdot \left(\frac{RH_d}{RH_a}\right)^{-\gamma}$
= $e^{\frac{0.6}{k} \left(\frac{1}{25 + 273} - \frac{1}{60 + 273}\right)} \cdot \left(\frac{50}{90}\right)^{-3}$ (1.4)

= 67.9

고온고습 시험은 200시간을 시험한다. 그래서 가속계수가 68은 일반 상온 환경 인 25도, 습도50% 의 환경에서 566일을 시험하는 효과를 볼 수 있다.

1.5 점탄성(Viscoelasticity) 이론

1.5.1 분자 메커니즘(Molecular Mechanisms)

분자 메커니즘에서 보면 형태의 변화율은 아레니우스(Arrhenius) 타입의 표현으 로 합리적으로 온도와 변화율과의 관계를 나타낼 수 있다. 이를 수학적으로 나타 내면 (식1.5) 와 같고 그래프는 [그림1.1]과 같다. R = 8.314 J/mol-°K 이고 E^{\dagger} 는 활성화 에너지이다[4].

 $t \propto e^{\frac{-E^{\dagger}}{kT}}$

(1.5)

그림 1.1: 변화율의 온도 의존성(Temperature dependence of Rate)

T_g(유리전이온도) 근처의 범위에서, 물질은 유리질 및 고무질 체제 사이의 중간 에 있다고 볼 수 있으며 반응은 점성 유동성과 탄성 견고성의 조합이며, 기술적으로 "점탄성" 이라고 할 수 있다. T_g 의 가치는 고분자 열역학적 반응의 중요한 설명자 이며 이동성에 대한 물질의 성향의 기본 척도이다.

그리고 [그림1.2] 의 모듈러스 대 온도와의 맵을 보면 유리(*E*_g)계수 또는 고무 계수(*E*_r)는 시간에 크게 의존하지 않지만, *T*_g온도 근처에서 전이 근처의 계수들은 시간 효과가 매우 중요 할 수 있음을 보여준다. 이는 재료 공학에서 아주 중요한 도 구이자 재료 분자 운동의 지문이기도 하다[4]. 그래서 고온에서의 고분자 물질의 변형거동을 볼려면 시간 인자가 들어가는 점탄성을 반드시 거론하여야 한다.



그림 1.2: 폴리머의 일반적인 모듈러스 온도맵

1.5.2 크리프 시험(Creep Test)

크리프 시험은 일정한 응력을 가한 상태에서 시간이 지남에 따라 그 변위의 변 형을 관찰하는 실험으로 시간 의존적 변형률 $\varepsilon(t) = \sigma(t) / L_0$ 을 측정하는 것으로 구성된다.

[그림1.3]의 3개의 곡선은 서로 다른 3가지 응력 수준에서 측정 된 변형률로, 이 전 응력의 2배이다. 변형과 응력과의 관계가 선형이 경우 응력이 두 배가되면 전체 범위에 걸쳐 변형률이 두 배가 된다. 이를 수학적으로 나타내면 (식1.6) 과 같다[4].



그림 1.3: 다양한 일정 응력에서의 Creep 변형율

$$\varepsilon \left(a\sigma \right) = a\varepsilon \left(\sigma \right) \tag{1.6}$$

1.5.3 응력완화 시험 (Stress Relaxation Test)

응력완화 시험은 물체에 힘을 가하여 그 상태를 유지하고 있더라도 물체 내부의 응력이 시간과 더불어 감소하는 거동을 관찰하는 실험이다.

변위 시험기(Instron)나 기타 다른 변위 시험기에 쉽게 수행되는 일반적인 테스 트에서 일정한 변형으로 인한 시간에 종속되는 응력을 모니터링 하면 아래와 같은 [그림1.4] 를 나타낼 수 있다. 이것은 앞의 크리프 시험의 반대이면 여기서 응력 곡 선은 세가지 다른 수준의 일정한 변형률에 해당하며 각 변형률은 이전 변형률의 두 배이다[4].



그림 1.4: Relaxation 반응의 측정값

1.5.4 선형 점탄성 재료의 구성 방정식

1835년 웨버(Weber)가 점탄성 재료의 탄성여효 현상을 발견한 이후로 점탄성 재료의 거동을 표현하기 위한 연구가 진행되어 왔다. 맥스웰(Maxwell)은 응력 완 화 현상을 설명하기 위하여 점탄성체를 탄성을 가진 액체로 취급하였고[9] 켈빈 (Kelvin)은 탄성여효를 설명하기 위해 점성을 가진 고체로 취급하였다 [10].

맥스웰이나 켈빈-보이트 (Kelvin-Voigt)가 점탄성 특성을 설명하기 위해 제안한 모형은 선형 점탄성 연구의 기초가 되었으며, 일반화된 모형으로 발전되어 사용되 고 있다. 맥스웰 모형, 켈빈-보이트 모형, 제너(Zener)모형, 일반화된 맥스웰 모형을 [그림1.5] 에 나타낸다. 볼츠만(Boltzmann)은 응력이 시간에 대한 함수인 경우에 대해 응력 완화와 탄성여효를 설명할 수 있는 일반적인 응력-변형률 관계식으로써 볼츠만 방정식을 소개하였다. 볼츠만의 중첩 원리를 이용하여, 일반화된 맥스웰 모형의 응력-변형률 관계를 유도하면 다음(식1.7)과 같다[2].

$$\sigma\left(\tau\right) = \int_{0}^{t} G\left(t - \tau\right) \frac{d\varepsilon\left(\tau\right)}{d\tau} d\tau$$
(1.7)



그림 1.5: 선형 점탄성 모델들

ε 는 변형률, τ 는 0과 t 사이의 임의의 시각이다. 여기서 G(t)는 응력 완화 실 험에서 측정한 완화 탄성계수(Relaxation modulus)이며, 시각 t 에서의 응력 σ(t) 와 변형률 ε(t) 의 비율을 의미한다. 일반화된 맥스웰 모형의 완화 탄성 계수는 1 개의 스프링 탄성계수와 n 개의 단위 맥스웰 모형에서의 탄성계수와 점성계수의 조합으로 결정된다. 이를 프로니 급수 (Prony series) 전개하면 다음(식1.8)과 같다.

$$G(t) = G_{\infty} - \sum_{i=1}^{n} G_i e^{-t/\tau_i}$$
(1.8)

여기서 G_∞는 1개의 스프링 탄성계수, 완화 시간 (Relaxation time) τ_i는 i 번째 단 위 맥스웰 모형에서의 탄성계수 G_i에 대한 점성계수 η_i 비율이다. 만약 점탄성체에 가해지는 동적 하중이 매우 짧은 시간(t→0)에 걸쳐 가해진다면 완화 탄성계수는 스프링 탄성계수들의 총합이 되고, 매우 긴 시간(t→∞)에 걸쳐 가해진다면 1개의 스프링 탄성계수 G_∞ 에 수렴한다. 이는 점탄성 재료의 물성이 시간에 종속적임을 의미하며, 수식으로 표현하면 다음(식1.9, 식1.10)과 같다.

$$\lim_{t \to 0} G(t) = G_{\infty} + \sum_{i=1}^{n} G_i$$
(1.9)

$$\lim_{t \to \infty} G\left(t\right) = G_{\infty} \tag{1.10}$$

제 2 장 소재의 기계적 특성

2.1 온도에 따른 인장시험

시험에 앞서 재료는 TV Stand 에서 주로 사용하는 PC+ABS, PC+ABS-GF20% 로 선정하였다. 인장시험 시편은 아래 [그림2.1]과 같이 ASTM D388 로 제작하여 시편을 물려서 인장시험을 진행하였다.

온도 설정은 25℃ 와 60℃로 진행하였다. 일반적으로 TV 고온고습수명 시험에서 고온은 60℃까지 환경조건을 주어서 측정하기에 이와 고온 조건을 60℃로 주었다. 본 연구에서는 상온은 25℃, 고온은 60℃라고 정의하겠다.



그림 2.1: 인장시험 시편(ASTM D638)

2.1.1 시험조건

[그림2.2]는 실험장비의 사진이고 속도는 5mm/min 로 인장을 진행하였고 온도 는 상온(25℃), 고온(60℃) 으로 각각 진행하였으며 시편의 소재 종류는 PC+ABS-GF20% 와 PC+ABS 이고 실험장비는 인장시험기인 Instron8801을 사용하였다.



그림 2.2: 실험장비

2.1.2 시험결과

[그림2.3]은 인장시험 결과 PC+ABS의 온도에 따른 응력과 변형률의 관계를 보 여주는 곡선이다. 파란색 곡선은 상온(25℃)에서 변화이고 빨간색은 고온(60℃) 에서의 변화이다. 그래프에서 보는 바와 같이 고온(60℃)에서의 항복점 과 인장강 도가 상온(25℃)대비 낮음을 알 수 있다. 그리고 그래프에서 기울기는 탄성 계수를 나타내는데 이 값 또한 상온에서 고온으로 열화가 되면 떨어짐을 알 수 있다. 이를 보면 고분자 물질이 고온 상태에서의 물성치가 떨어짐을 이 인장시험을 통해서 알 수 있다.



그림 2.3: PC+ABS S-S Curve

[그림2.4]는 PC+ABS-GF20%의 응력과 변형률의 관계를 보여주는 곡선이다. PC+ABS와는 다르게 항복점 이후에 소성변형이 일어나기 보다는 항복점 이후에 어느 정도 늘어나다가 파단이 일어남을 알 수 있다. 파란색 곡선은 상온(25℃)에서 변화이고 빨간색은 고온(60℃)에서의 변화이다. 또한 항복점 및 탄성 계수가 상온 대비 고온 상태에서 떨어짐을 알 수 있다,



그림 2.4: PC+ABS-GF20% S-S Curve

아래 (표2.1)은 온도에 따른 인장시험 실험에서 구한 고온과 상온에서의 기계적 물성치 값인 항복강도(Ys:Yield Strength), 탄성계수(E:Young's Modulus), 인장강 도(Ts: Tensile Strength) 의 상세 데이터 이다.

PC ABS			PC ABS GF20				
	25℃		60°C	25°C		60°C	
E	2.72Gpa	E	1.36Gpa	E	6.72Gpa	E	2.94Gpa
Ys	52.87Mpa	Ys	33.85Mpa	Ys	63.4Mpa	Ys	36.63Mpa
Ts	54.9Mpa	Ts	38.2Mpa	Ts	93.1Mpa	Ts	72.12Mpa

표 2.1: 온도에 따른 기계적 특성 값

E: Young's Modulus

Ys: Yield Strength

Ts: Tensile Strength

2.2 온도에 따른 응력완화 시험(Stress Relaxation Test)

본 시험에서는 고분자 물질의 점탄성 특성을 이용하기 위해 크리프 함수와 역수 관계인 응력완화 시험을 진행하였다. 인장 응력을 가해 일정한 변위 상태에 유지 시킨 후 시편에 부하되는 응력의 변화를 시간의 흐름에 따라서 살펴 보았다.

2.2.1 시험조건

여러 번의 시험을 통해서 시편이 끊어지 않는 속도를 세팅하여서 속도를 5mm/min 로 해서 인장 길이를 4mm 하였다. 시험 온도는 각각 25℃, 60℃ 에서 진행 하였으며 재료는 PC+ABS-GF20%, PC+ABS 이다. 실험장비 또한 앞서 인장시험에서 진행 한 것과 동일한 Instron 8801 이고 시험 시편도 동일한 ASTM D638이다.

2.2.2 시험결과

[그림2.5] 와 [그림2.6] 은 응력완화 시험 결과인 시간에 따른 응력의 감소현상을 그래프로 나타내었다. 그래프를 보면 응력이 이완되면서 평형을 이루면서 수렴되 는 인장응력이 상온 대비 고온에서 낮아짐을 알 수 있고 이는 시간이 지남에 따라 응력 완화율이 고온이 상온 대비 큰 것을 알 수 있다. 상온(25℃)은 파란색, 고온 (60℃)은 붉은색으로 나타내었다.



그림 2.5: PC+ABS 온도에 따른 Relaxation 시험 결과



그림 2.6: PC+ABS-GF20% 온도에 따른 Relaxation 시험 결과

제 3 장 열화에 의한 변형 해석

3.1 해석 모델링 설명

TV의 경우 아래 [그림3.1] 과 같이 2개의 Stand가 양쪽에서 각각 TV Set를 지지 하는 구조이다.



그림 3.1: TV Set Stand Scene

Stand와 TV Set의 Screw와 체결되는 부위에 하중을 주었고 하중이 주어졌을 때 Stand 변형이 일어나는 해석을 위해 뒤쪽은 완전하게 구속을 주고 앞쪽은 Y축만 고정을 해서 지면 위에 있는 효과를 주고 X, Y 방향으로 구속을 풀어주어서 변형 을 관찰하였다[그림3.2]. 하중은 60인치 TV 기준으로 무게를 20kg으로 보았을 때 Stand 각각에 하중이 분산되어 전달되기에 10Kgf를 주었다. 유한요소 모델링 수 행을 위해 Abaqus 2017 상용패키지를 이용하였고 Mesh는 C3D10(ten node tetrahedron)로 구성하였다. [표3.1]과 같이 총 절점 수(Nodes)는 129,017개 와 요소 수 (Elements)는 74,135개로 [그림3.3]와 같이 생성하였다.



Part	No.Elements	No.Nodes
Stand	74,135	129,017

3.2 재료 물성

3.2.1 인장시험을 통한 탄성계수(Young's modulus)

고분자 물질의 탄성 물성치는 응력에 의해 변형률이 어떻게 변화하는지 인장 시험을 통해서 알 수 있고 2장에서의 시험결과로 나온 데이터를 살펴보면 응력 (σ)과 변형률(ϵ)의 관계를 그래프에 곡선으로 나타내어 줄 수 있었다[그림2.3, 그 림2.4]. 응력(σ)에 대해 상대적인 변형률(ϵ)이 어떻게 변화하는 지를 구하면 이것이 Young's modulus로 영률(ϵ)라는 계수로 나타낼 수 있다(식3.1). 그래프에서 기울기 값이 탄성계수가 되는 것이다. 이것은 해석 분석 시에 재료 물성치로 입력이 된다. 탄성계수는 앞서 2장에서 구해놓은 온도에 따른 재료별 탄성계수 데이터[표2.1]를 이용한다.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{3.1}$$

3.2.2 응력완화 시험 결과를 이용한 열화재료물성 구하기

크리프 시험을 통해 확보한 시험 데이터를 유한요소 해석에 점탄성 물성치를 적용하기 위해 변위-시간 커브를 정규화 해서 MATLAB을 이용하여 (식3.2)를 목 적함수로 해서 프로니 계수를 구할 수 있다[1].

본 연구에서는 크리프 시험의 역수 관계인 응력완화 시험으로도 점탄성 물성 치를 적용할 수 있는 것에 아이디어를 얻었다. 그래서 2장에서 언급한 응력완화 시험을 통해 확보한 응력-시간 시험데이터를 유한요소 해석에 점탄성 물성으로 적용하기 위해 응력-시간 커브를 정규화된 응력과 시간 커브로 변환하였다. 이를 바탕으로 점탄성 거동을 기술하기 위한 열화재료상수를 구했다.

그 방법은 MATLAB 2019를 이용하여 (식3.2)를 목적함수로 하면 [그림3.4~그 림3.7]과 같은 정규화된 탄성계수와 시간에 관한 곡선이 구해진다. 그리고 이에 따른 열화 재료 상수가 구해진다[표3.2, 표3.4, 표3.6, 표3.8].

$$G(t) = G_{\infty} + \sum_{i=1}^{n} G_{i} e^{-t/t_{i}^{G}}$$
$$G_{\infty} = 1 - \sum_{i=1}^{n} G_{i} (\sum G_{i} < 1), (\tau_{i}^{G} < \tau_{i+1}^{G})$$

(3.2)

커브 피팅을 통해 본 [그림3.4]를 보면 PC+ABS의 상온(25℃) 상태에서는 시간 이 지남에 따라 정규화된 탄성 계수가 35% 가까이 떨어지고 난 후 점차 수렴 됨을 알 수 있다.



그림 3.4: Relaxation Curve of PC+ABS(25°C)

n	gi	k _i	$ au_i$
1	0.08165	0.0816	19.84
2	0.2334	0.2334	1.905
3	0.07114	0.07114	150

표 3.2: PC+ABS(25℃) 열화재료상수

SSE	\mathbb{R}^2	Ad_{R^2}	RSME
0.02078	0.9957	0.9957	0.00228

표 3.3: PC+ABS(25℃) 열화재료상수의 정확성

[그림3.5]를 보면 PC+ABS의 고온(60℃) 상태에서는 시간이 지남에 따라 정규 화된 탄성 계수가 60% 가까이 떨어지면서 수렴 됨을 알 수 있다. 열화가 진행된 60℃에서 상온보다 응력 완화율이 큼을 알 수 있다.



그림 3.5: Relaxation Curve of PC+ABS(60°C)

n	\mathbf{g}_i	k _i	$ au_i$
1	0.2777	0.2777	1.855
2	0.1946	0.1946	109.1
3	0.1288	0.1288	12.54

표 3.4: PC+ABS(60℃) 열화재료상수

SSE	\mathbb{R}^2	Ad_{R^2}	RSME
2.009	0.9019	0.9018	0.02243

표 3.5: PC+ABS(60℃) 열화재료상수 정확성

커브 피팅을 통해 본 [그림3.6]를 보면 PC+ABS-GF20%의 상온(25℃) 상태에서 는 시간이 지남에 따라 정규화된 탄성 계수가 25% 가까이 떨어지면서 수렴 됨을 알 수 있다.



그림 3.6: Relaxation Curve of PC+ABS-GF20%(25°C)

n	g_i	k _i	$ au_i$
1	0.1094	0.1094	0.3213
2	0.0558	0.0558	8.466
3	0.06935	0.06935	83.04

표 3.6: PC+ABS-GF20%(25℃)열화재료상수

SSE	\mathbb{R}^2	Ad_{R^2}	RSME
0.004109	0.997	0.997	0.001313

표 3.7: PC+ABS-GF20%(25℃)열화재료상수 정확성

커브 피팅을 통해 본 [그림3.7]를 보면 PC+ABS-GF20%의 고온(60℃) 상태에서 는 시간이 지남에 따라 정규화된 탄성 계수가 35% 가까이 떨어지면서 수렴 됨을 알 수 있다.



그림 3.7: Relaxation Curve of PC+ABS-GF20%(60°C)

n	\mathbf{g}_i	k _i	$ au_i$
1	0.08082	0.08082	1.942
2	0.08798	0.08798	16.47
3	0.1958	0.1958	143.2

표 3.8: PC+ABS-GF20%(60℃) 열화재료상수

SSE	\mathbb{R}^2	Ad_{R^2}	RSME
0.019	0.9977	0.9977	0.002839

표 3.9: PC+ABS-GF20%(60℃) 열화재료상수의 정확성

3.3 해석 결과 분석

3.3.1 측정 포인트 설정

[그림3.8]은 Stand의 최대응력이 발생되는 부분을 나타내고 있다. 재료 종류별, 온도별 분석에 있어 이 최대응력을 받는 node를 동일하게 측정하였다. 최대응력은 13.5Mpa로 나타난다.



그림 3.8: 최대응력 측정 포인트

3.3.2 변형율(Strain), 변위(Displacement), 응력(Stress)

측정 포인트를 최대응력 받는 부분으로 설정하였고 상온(25℃)과 고온(60℃) 에서의 변형률, 변위, 응력을 해석으로 통해 결과 값을 얻을 수 있었다 [표3.9~ 표3.12]. 이 데이터를 이용하여 상온과 고온에서의 변위의 변화 추이 및 변형률과 응력의 관계를 나타내는 그래프를 통해 열화에 따른 변형거동 해석을 할 수 있었다 [그림3.9~그림3.12].

특히 탄성값만을 고려했을 때와와 점탄성을 같이 고려했을 때 그 차이가 무엇인 지를 살펴 봄으로써 폴리머의 변형 거동해석에 있어 점탄성의 물성치가 의미가 있음을 살펴 보았다. 항상 그래프에는 상온(25℃)은 파란색으로 고온(60℃)은 붉은 색으로 값을 같이 표시하여 열화에 따른 고온에서 변형거동을 상온과 비교해서 볼 수 있게 하였다. [그림3.9]를 보면 점선은 소재 물성치에 탄성값만을 고려하여 시간에 따른 변위 변화를 본 것이고 실선은 점탄성도 고려하여서 변위 변화를 해석해 본 것이다. 특히 상온(25℃)보다 열화가 진행 된 고온(60℃)에서 점탄성 고려 유/무에 따라 변위량 의 차이가 100%이상 차이가 나기에 점탄성의 물성치가 폴리머 변형거동 해석에 의미가 있음을 확실히 보여준다.



그림 3.9: 시간의 변화에 따른 온도별 변위 변화 추이(PC+ABS)

[그림3.10]은 상온(25℃)과 고온(60℃) 의 변형률(Strain)과 응력(Stress)의 관계 를 그래프로 나타내었다. 이를 보면 25℃에서 보다 60℃의 곡선의 기울기가 작아 지는 것이 보인다 이는 탄성계수가 작아지고 같은 힘에서도 변형이 크게 됨을 보 여준다. 열화에 따라 고온에서 소재의 물성치가 떨어짐을 알 수 있다.



그림 3.10: PC+ABS Strain-Stress Curve

[그림3.11]를 보면 PC+ABS-GF20% 의 경우 PC+ABS보다는 변위 변화 절대 값 이 작음을 알 수 있다. 실선은 점탄성 물성치를 고려한 것이고 점선은 점탄성 물성 치를 고려하지 않은 해석 값이다. PC+ABS-GF20% 역시 고온으로 열화가 되었을 때가 변위 값의 증가량이 상온에서 보다 큼을 알 수 있다. 점탄성의 물성치 값이 폴리머의 열화에 따른 변형거동을 볼 때 중요한 요소 임을 알 수 있다.



그림 3.11: 시간의 변화에 따른 온도별 변위 변화 추이(PC+ABS-GF20%)

[그림3.12]는 PC+ABS-GF20%의 상온과 고온에서의 변형률과 응력의 관계를 나타낸 그래프이다. 고온에서의 기울기가 상온보다 작음을 알 수 있다. 상온에서 고온으로 열화가 되면 소재의 물성치가 떨어져서 기울기 값인 탄성계수가 작아지 고 같은 힘에서도 변형이 더 크게 됨을 보여준다.



그림 3.12: PC+ABS-GF20% Strain-Stress Curve

아래의 [표3.10] 는 PC+ABS의 25℃ 상태에서 해석한 결과 값 상세 데이터이다. 변형률(ela)는 탄성값만을 고려한 변형률 값이고 변형률(visco)는 탄성과 점탄성 도 고려한 변형률 값이다. 변위(ela) 또한 탄성값만을 고려한 것이고 변위(visco)는 탄성과 점탄성도 고려한 변위값이다.

시간(Sec)	변형률(ela)	변형률(visco)	변위 (ela)(mm)	변위 (visco)(mm)	응력(Mpa)
0	0	0	0	0	0
1	0.0041	0.0049	1.36	1.66	13.45
2	0.0041	0.0050	1.37	1.68	13.45
3	0.0041	0.0051	1.38	1.70	13.45
5	0.0042	0.0052	1.40	1.73	13.45
9	0.0043	0.0052	1.43	1.76	13.45
17	0.0043	0.0054	1.46	1.80	13.45
33	0.0044	0.0055	1.50	1.85	13.45
65	0.0045	0.0057	1.54	1.90	13.45
129	0.0046	0.0058	1.58	1.94	13.45
257	0.0047	0.0059	1.61	1.98	13.45
513	0.0048	0.0060	1.64	2.01	13.45
1000	0.0048	0.0060	1.64	2.02	13.45

표 3.10: PC+ABS(25℃) 해석결과

아래의 [표3.11] 는 PC+ABS의 60℃ 상태에서 해석한 결과 값 상세 데이터이다. 변형률(ela)는 탄성값만을 고려한 변형률 값이고 변형률(visco)는 탄성과 점탄성 도 고려한 변형률 값이다. 변위(ela) 또한 탄성값만을 고려한 것이고 변위(visco)는 탄성과 점탄성도 고려한 변위값이다.

시간(Sec)	변형률(ela)	변형률(visco)	변위 (ela)(mm)	변위 (visco)(mm)	응력(Mpa)
0	0	0	0	0	0
1	0.0045	0.0106	1.49	3.53	13.45
2	0.0047	0.0118	1.56	3.92	13.45
3	0.0050	0.0126	1.67	4.20	13.45
5	0.0055	0.0137	1.82	4.56	13.45
9	0.0059	0.0149	1.97	4.95	13.45
17	0.0064	0.0161	2.13	5.34	13.45
33	0.0070	0.0174	2.31	5.80	13.45
65	0.0076	0.0190	2.52	6.31	13.45
129	0.0083	0.0209	2.77	6.95	13.45
257	0.0092	0.0230	3.04	7.64	13.45
513	0.0097	0.0244	3.23	8.10	13.45
1000	0.0099	0.0248	3.28	8.24	13.45

표 3.11: PC+ABS(60℃) 해석결과

아래의 [표3.12] 는 PC+ABS-GF20%의 25℃ 상태에서 해석한 결과 값 상세 데이 터이다. 변형률(ela)는 탄성값만을 고려한 변형률 값이고 변형률(visco)는 탄성과 점탄성도 고려한 변형률 값이다. 변위(ela) 또한 탄성값만을 고려한 것이고 변위 (visco)는 탄성과 점탄성도 고려한 변위값이다.

시간(Sec)	변형률(ela)	변형률(visco)	변위 (ela)(mm)	변위 (visco)(mm)	응력(Mpa)
0	0	0	0	0	0
1	0.0017	0.0022	0.57	0.72	13.45
2	0.0017	0.0023	0.58	0.75	13.45
3	0.0018	0.0023	0.58	0.76	13.45
5	0.0018	0.0023	0.59	0.77	13.45
9	0.0018	0.0024	0.60	0.78	13.45
17	0.0018	0.0024	0.61	0.80	13.45
33	0.0019	0.0025	0.63	0.82	13.45
65	0.0019	0.0025	0.64	0.84	13.45
129	0.0020	0.0026	0.65	0.85	13.45
257	0.0020	0.0026	0.66	0.87	13.45
513	0.0020	0.0026	0.67	0.87	13.45
1000	0.0020	0.0026	0.67	0.87	13.45

표 3.12: PC+ABS-GF20%(25℃) 해석결과

아래의 [표3.13] 는 PC+ABS-GF20%의 60℃ 상태에서 해석한 결과 값 상세 데이 터이다. 변형률(ela)는 탄성값만을 고려한 변형률 값이고 변형률(visco)는 탄성과 점탄성도 고려한 변형률 값이다. 변위(ela) 또한 탄성값만을 고려한 것이고 변위 (visco)는 탄성과 점탄성도 고려한 변위값이다.

시간(Sec)	변형률(ela)	변형률(visco)	변위 (ela)(mm)	변위 (visco)(mm)	응력(Mpa)
0	0	0	0	0	0
1	0.0030	0.0047	1.01	1.56	13.45
2	0.0031	0.0048	1.02	1.61	13.45
3	0.0031	0.0049	1.04	1.64	13.45
5	0.0032	0.0051	1.07	1.69	13.45
9	0.0033	0.0052	1.11	1.74	13.45
17	0.0034	0.0054	1.14	1.80	13.45
33	0.0035	0.0057	1.20	1.88	13.45
65	0.0037	0.0060	1.26	1.98	13.45
129	0.0039	0.0063	1.34	2.11	13.45
257	0.0042	0.0068	1.43	2.25	13.45
513	0.0044	0.0071	1.50	2.36	13.45
1000	0.0045	0.0072	1.52	2.39	13.45

표 3.13: PC+ABS-GF20%(60℃) 해석결과

3.4 실물 비교 검증

해석 결과를 실물과 비교하여 보고 이와 같은 추이를 가지고 있는지 확인해 보 았다. [그림3.13]과 같이 Stand를 체결한 TV를 환경 챔버에 넣고 열화에 따른 Set 변형량(θ)을 측정해 보았다.

3.4.1 실험조건

TV Set의 무게는 20Kg이고 Set의 수량은 4대로 하였다. 시험조건은 두 가지로 첫번째 조건은 온도 60℃, 상대습도 90% 이고 두번째 조건은 온도 25℃, 상대습 도 50% 온도 이다. 시험 시간은 72시간이고 Stand의 재료는 PC+ABS, PC+ABS-GF20%로 두 가지이다.



그림 3.13: 실물 TEST 시료



그림 3.14: 환경챔버

측정 결과를 [그림3.15, 그림3.16]와 같이 상온과 고온에서의 시간에 따른 변형 량(θ)의 변화를 비교해 볼 수 있다. 고온에서 변형량(θ)이 상온에서 보다 큼을 알 수 있고 이는 앞의 해석에서의 변위 변화추이[그림3.9, 그림3.11]와 같이 고온에서 물성치가 떨어짐을 유추할 수 있었다. 이로써 고분자 물질의 열화상태에서 변형거 동을 해석하기 위해서는 점탄성을 고려하여 해석에 적용하는게 정확성을 높일 수 있음을 알 수 있다. [그림3.15, 그림3.16]는 TV-SET의 변형량(θ)을 시간에 따라 측정하여 그래프로 나타내었다. 상온과 고온에서의 변형량을 같이 나타내어 온도별 시간에 따른 변형 거동을 비교하여 볼 수 있다.



그림 3.15: TV-SET(PC+ABS)의 변형량(θ) 측정 결과



그림 3.16: TV-SET(PC+ABS-GF20%)의 변형량(θ) 측정 결과

3.5 Yield Strength를 이용한 안전율 설계

현재 모델링에서의 해석결과 PC+ABS와 PC+ABS-GF20%의 재료로 상온(25℃) 과 고온(60℃)에서의 최대응력을 구했다. 2장에서 구한 온도에 따른 항복강도 값과 비교를 하면 현재 모델링의 안전율 수준을 알아 볼 수 있다. 고분자 물질의 일반 적인 Modulus 온도맵[4]과 2장에서 테스트한 온도에 따른 고분자 물질의 기계적 특성을 보았을 때 지수함수적인 감소를 유추할 수 있고 항복강도를 Exponential 함 수(식3.3)에 적용하여 MATLAB 2019로 커브 Fitting을 통해서 항복강도와 온도에 따른 관계식을 알아내었다.

$$y = a \cdot e^{(-b \cdot x)} + c \cdot e^{(-d \cdot x)} \tag{3.3}$$

y = Yield Strength

x = 온도

이 (식3.3) 이용해서 온도에 따른 항복강도를 허용강도로 해서 기준 곡선을 만들 어 내었고 이를 Stand 해석 결과 최대응력 결과 값을 허용응력으로 표시하여 현재 모델링의 안전율을 비교하였다. 중간의 점선이 안전계수2를 나타내고 있으며 현재 모델링은 안전계수2를 만족함을 알 수 있다[그림3.17, 그림3.18].

> 안전계수(FS)= 재료의 강도/ 허용응력 = 허용강도/인가응력 = 기준강도/허용응력

Ex)안전계수 2 = 설계 응력을 허용응력과 똑같이 잡았을 경우, 2배의 응력이 발생해도 기준 강도를 넘지 않는다는 것을 뜻한다[5]. [그림3.17] 은 소재는 PC+ABS로 [식3.3]을 이용하여 온도별 항복강도를 곡선(빨 간 실선)으로 나타내었고 여기에 해석한 최대 응력값(파란 실선)과 안전계수2(녹색 점선) 를 같이 표현하여 설계의 안전율을 한눈에 볼수 있게 그래프로 나타내었다. [표3.14]는 항복강도 곡선에 사용된 관계식의 상수값 들이다.



그림 3.17: PC+ABS의 온도에 따른 항복강도와 해석최대응력 비교

а	b	с	d
120.4	0.08034	39.84	0.003125

표 3.14: PC+ABS 항복강도와 온도에 따른 관계식 상수 값

[그림3.18] 은 소재는 PC+ABS-GF20%로 [식3.3]을 이용하여 온도별 항복강도 를 곡선(빨간 실선)으로 나타내었고 여기에 해석한 최대 응력값(파란 실선)과 안전 계수2(녹색 점선) 를 같이 표현하여 설계의 안전율을 한눈에 볼수 있게 그래프로 나타내었다. [표3.15]는 항복강도 곡선에 사용된 관계식의 상수값 들이다.



그림 3.18: PC+ABS-GF20%의 온도에 따른 항복강도와 해석최대응력 비교



표 3.15: PC+ABS-GF20% 항복강도와 온도에 따른 관계식 상수 값

제4장결론

4.1 연구결과

본 연구에서는 TV 신뢰성(고온 고습) 시험 시 발생하는 열화 환경에 대한 고분자 물질의 변형거동에 대한 연구를 진행하였다. 실험과 해석을 통해서 응력을 받았을 때 상온에서 보다 고온에서의 고분자 물질의 변형율과 변위의 값이 크다는 것을 증명하였다. 고분자 물질의 점탄성 특성에서 크리프 시험의 함수는 응력완화 시험 의 함수와 역수임에 착안해서 응력완화 실험을 실시하였다. 이 실험을 통한 결과 값을 통해 프로니 급수를 활용하여 열화재료상수를 구했다. 그래서 응력완화 실험 결과로 점탄성 특성을 Abaqus해석에 반영할 수 있음을 확인하였다.

해석 결과를 통해서 상온(25℃)과 고온(60℃)에서의 변형률 응력, 변위의 시간에 따른 변화 추이를 비교하였다. 특히 탄성값만을 고려한 것과 탄성값에 점탄성을 함 께 고려한 변위 변화 추이를 비교함으로써 폴리머의 열화에 따른 고온 상태에서는 점탄성의 물성치가 중요한 인자임을 확인하였다. 실험을 통한 온도변화에 따른 항 복강도 값을 통해서 현재 설계모델의 안전율을 안전계수와 함께 비교하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

 고분자 물질의 열화에 따른 인장시험 결과 고온(60℃)에서 재료의 물성치인 탄성계수가 떨어짐으로 인해서 상온(25℃)대비 변위 값이 크다는 것을 알 수 있었
 다. 응력완화 실험을 통해서도 고온(60℃) 상태에서는 재료의 물성치가 떨어짐으로 응력 완화율이 증가함을 확인하였다.

 2. 고분자물질의 점탄성 특성 재료값 구하기 위해 크리프 실험 대신에 응력완
 화 실험을 통해 나온 실험 결과 값으로 프로니 급수를 이용해서 열화재료상수를 구하는 방법을 알 수 있었다.

3. 해석 결과를 통해 고분자 물질의 변형 거동에 있어 점탄성이 재료 물성치의 중요한 인자임을 알게 되었다. 특히 고온에서는 재료의 물성치가 떨어지기에 열화 에 따른 고온에서의 변형 거동에서는 점탄성의 고려가 반드시 되어야 함을 알 수

44

있었다.

4. 실험과 해석을 통해 온도에 따른 고분자 물질의 기계적 특성을 보았을 때 지 수함수적인 감소를 유추 할 수 있었다. 그리고 항복강도와 온도에 따른 관계식을 알아내어 현재 설계 모델의 온도에 따른 안전율 도출하였다.

4.2 고찰

본 연구에서 구한 PC+ABS와 PC+ABS-GF20%의 고온에서의 재료 물성치를 향 후 설계 시 비교 및 활용 할 수 있다. 그리고 열화에 따른 고온 상태에서의 폴리머 물성치가 떨어짐을 확인 하였으므로 이를 해석 시 참조하면 설계 신뢰성 향상에 도움을 준다. 본 연구를 통해서 고온 조건의 실제 환경 시험 시 발생하는 변형량을 해석을 통해서 예측할 수 있다.

그리고 추가적으로 본 연구에서는 실물 비교 검토시 변위값이 아닌 각도로 그 변형의 추이를 비교하였다. 실제 TV SET 고온 시험 시 나오는 변위 변화 값을 비 교한다면 모사해석에 있어 더욱 정확성을 높일 수 있게 될 것이다. 이 연구는 고온 조건에서의 고분자 물질 변형해석 관련 탄성의 선형 구간에 대해서만 연구를 하였 는데 향후 비선형 구간에 대해서 연구를 진행하는데 이 연구가 도움이 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 도재혁, 이종수, 안효상, 김상우 and 김석환. "열화물성을 고려한 차량용 플라스틱 부품의 신뢰성기반설계", pp.4-5 한국자동차공학회논문집 24(5). Jun 2016.
- [2] 최욱한. "등가정 하중을 이용한 점탄성 재료구조물의 최적설계." Feb 2018.
- [3] 백제욱. "가속수명시험", pp.140, pp.146-147, Jan 10 2007.
- [4] David Roylance. "ENGINEERING VISCOELASTICITY". Department of Materials Science and Engineering- Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA 02139 pp. 2-5, pp.13. Oct 24 2007.
- [5] 주용마. "열처리 공정을 통한 플라스틱 금형강의 수명 및 안전계수에 관한 연구" pp. 35, Feb 2012.
- [6] ABAQUS 6.12 User's Manual, Version 6.12, Dassault Systemes Simulia, Inc., Providence, RI, 2012.
- [7] MATLAB User's Guide, The mathworks Inc., Natick, MA, 1998.
- [8] Wilhelm Flugge. "Viscoelasticity" 2nd revised edit. pp.16-17, 1975
- [9] Maxwell, J., Fundamental paper on relaxation and flow. Phil. Mag, 12(35), pp.134. 1868.
- [10] Kelvin, W., On the theory of viscoelastic fluids. Math. Phys. Pap, 3, p.27-84.1875
- [11] 엔지니어를 위한 ABAQUS (Ryan Lee저, e퍼플출판)
- [12] 초급 및 중급 사용자를 위한 Abaqus 입문서 ㈜브이이엔지, 비비미디어
- [13] 성주창. "도금기술 용어사전" 노드미디어, Jun 2006.

- [14] HyperMesh User Guide, HyperMesh Version 11.0, Altair Engineering Inc., Troy, MI, 2012.
- [15] J. D. Ferry, Viscoelastic Properties of Polymers, John Wiley Sons, New York, 1980.
- [16] M. T. Shaw and W. J. MacKnight, Introduction to Polymer Viscoelastic, John Weily Sons, New York, 2005.
- [17] E. J. Barbero, Finite Element Analysis of Composite Materials using ABAQUS6.12TM, CRC Press, 2013.

ABSTRACT

Korea's LCD TV is one of the world's tens of millions of products sold annually. Since TVs are used in various environments around the world, companies are conducting quality tests considering these environmental factors. In particular, the high temperature environment is set in consideration of the use of TV in a high temperature environment, and various reliability tests are performed.

This study studies degradation of mechanical properties of polymer under stress based on the modeling of TV stand at high temperature (60 $^{\circ}$ C).

In this study, tensile and relaxation tests were carried out to obtain the properties of the viscoelasticity of thermoplastics as well as the elastic modulus of the polymer at high temperatures. With the above reliability test test in mind, the room temperature was 25° and the high temperature was 60° . For polymer material, PC + ABS and PC + ABS-GF20%, the main materials of Stand, were compared.

The elastic modulus was calculated from the stress-strain curve, the tensile test result, and the data of the relaxation test were normalized to use the viscoelasticity of the polymer material. MATLAB was used to find the high temperature material constant using the Prony series. The analysis was performed using Abaqus commercial analysis program using finite element method. As a result of this analysis, the variation of strain, stress and displacement according to the material and temperature of the polymer material in the specific modeling was compared. In particular, the variation of displacement when considering only elastic value and when considering viscoelasticity was compared and found that the viscoelasticity was significant in the material property value when analyzing deformation behavior at high temperature.

In addition, comparing the maximum stress in the analysis results with the yield strength with temperature, you can determine the stability against damage caused by temperature changes to the high temperature of the TV stand. Lastly, the yield strength was defined as the allowable stress, and the design criteria considering the safety factor of the product were suggested.

Keyword:Polymer, Prony series, Viscoelasticity, Stress Relaxation Test **Student Number**: 2018-28975