

국외의 고무관련 연구 동향

한국신발피혁연구원
김정수변성 몬트몰리나이트 클레이와 BIIR의
비투과성 나노복합재료

나노클레이를 삽입(intercalation), 박리(exfoliation)한 후, 가황 고무에 적용하여 가스투과성과 기계적 물성을 강화할 수 있다. 삽입과 박리를 통하여 높은 분산도를 달성하는 것은 최적의 물성을 얻기 위해 중요하다. 이를 위해 BIIR에 4차 암모늄염 변성 MMT 점토를 분산시키는 연구를 수행하였으며, 기계적 전단에 의해 실행된 용매 삽입 방법으로 MMT 다발을 효과적으로 삽입/박리를 실시하였다. 특별한 고려사항은 컴파운드 후에 용매가 삽입된 마스터 배치로부터 용매를 제거하는 것이다. 본 연구에서 정교하게 분산된 나노 복합 재료는 높은 정도의 삽입과 박리를 통해 배리어 특성, 기계적 물성이 향상됨을 보여주었다. 우수한 기계적 특성 및 배리어 성질을 요구하는 재료(낮은 히스테리시스 거동을 나타내는 안쪽라인의 얇은 타이어 등)에 적용이 용이할 것으로 판단된다.

고온 절연을 위한 EPDM/폴리이미드 카본 나노 섬유 복합재료

탄성체와 그것들의 복합물은 열처리, 발전, 방화 및 우주환경에서 절연 시스템으로 광범위하게 사용되어져 왔다. 다른 탄성체에 비해 낮은 밀도를 가지는 EPDM은 훌륭한 노화 방지효과와 포화 결합에 의한 산화 억제와 같은 뛰어난 내구 물성을 가진다. 또한 탄성체에 폴리이미드(PI)의 도입은 열 안정성을 증가한다. 반면, CNF는 매트릭스의 기계적 성질을 강화한다. 더 나은 고무 필러 호환성을 얻기 위해, EPDM의 변성은 MAH를 그래프팅에 의해 실행되어졌다. 높은 고해

상도의 전자현미경 스캐닝에 의한 모폴로지 연구를 통해 EPDM 매트릭스가 그래프팅된 MAH에 의해 균일한 나노 필러의 분산이 가능함을 확인하였다. EPDM/PI 나노 복합물의 열적 성질은 TGA와 DSC에 의해 측정되어졌다. PI와 CNF가 채워진 말레인산 그래프팅 EPDM 복합재료는 높은 온도 절연 화합물로서 매우 좋은 물리적, 열 변형 성질을 보여준다.

XNBR의 보강성 필러로서의 비변성
LDH와 난연 탄성복합체의 개발

몇몇 중간층 양이온에 따른 구조의 금속 혼합 무기 점토 재료인 LDH(Layered double hydroxides)는 고무 필러로 사용할 수 있는 잠재력을 가진다. XNBR에 분산된 LDH를 이용하여 독창적인 물성을 가지는 나노 복합재료를 개발하였다. Zn과 Al이 포함된 LDH의 화학 구조를 변성함으로써 상당히 향상된 물리적 특성을 얻는 것에 성공했다. 특별히, 우리는 중요한 보강 효과를 발견하였는데, 침전 실리카와 카본블랙과 같은 일반적인 보강성 필러들과 LDH 사이의 입자 크기 차이에도 불구하고 탄성율과 인장강도가 모두 증가함을 확인하였다. 이 증가는 LDH의 기능이고, LDH 농도가 100 phr일 때 최고치에 도달한다. 이 실험적인 증거를 통해 필러와 매트릭스 사이의 직접적인 이온대 이온의 상호작용이 물성에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 게다가, 이 나노 필러는 나노 복합 재료의 난연성과 열분해에 긍정적으로 영향을 미치는 나노 필러에 의해 형성된 배리어층을 가짐을 확인할 수 있었다.

헥사메틸 디이소시아네이트와 폴리프로필렌 글리콜의 반응 속도

휘발성을 가진 폴리우레탄의 합성에서 HDI와 PPG의 분자량 차이에 의한 반응속도를 DSC와 DMA를 사용하여 연구하였다. DSC에서 관찰된 발열곡선으로부터 진동수 인자의 추가적인 온도 인자에 의해 수정된 Kissinger 식을 통해 모든 HDI/PPG반응의 등온 반응속도를 정확히 묘사하는 것이 가능하다는 것을 발견했다. 이 수식은 Ozawa 방법과 DMA 측정을 통해 관찰된 계수 분석에 의해 정의될 수 있었다. 사용된 PPG 종류에 관계없이 진동수 인자는 각각의 변환 정도가 바뀌었고, 거의 70%정도가 최고치였다. 수정된 운동방정식의 유도효과는 존재한다. 게다가, 경험에 의거한 PPG의 분자량에 대한 진동수 인자와 활성화 에너지의 의존을 묘사하는 식 역시 얻어졌다.

마이크로구조 기판을 위한 열가소성 탄성체의 사출 몰딩

열가소성 탄성체를 이용하여 마이크로구조 기판의 사출 몰딩은 패턴 접착과 초고소수성 표면으로 인해 사용분야가 급격히 증가되었으나, 이러한 재료의 복제에 영향을 주는 인자에 대한 이해가 요구된다. 이를 위해 열가소성 탄성체의 미시특성을 포함한 경화 세그먼트, 특성 배양(음성/양성 툴링 사용)과 툴링 중황비의 상호 작용을 조사하였다. 중황비가 0.02:1에서 2:1사이에서 서로 다른 치수를 가지는 전기성형 니켈 툴링은 유사한 화학적 구조와 다른 경도 값을 가지는 세가지 코폴리에스테르 열가소성탄성체로부터 성형되어졌다. 툴링과 파트의 형상은 SEM과 시각적인 프로필로메트리와 전자현미경을 사용하여 측정되어졌다.

결합된 유전체와 필러 네트워크 여과 거동, 필러-필러 접촉, 그리고 카본 블랙으로 채워진 수소화 반응된 아크릴로니트릴 부타디엔 고무에 대한 필러-고분자 상호작용

필러 네트워크 관투(percolation)현상, 필러-필러 접촉과 카본블랙으로 채워진 수소화된 아크릴로니트릴 부타디엔 고무의 필러-고분자 상호작용을 CB 농도 변

화, CB 비표면적, 가황물의 순환하는 변형과 혼합공정 동안에 내부 혼합기 블레이드의 회전속도에 따른 유전특성과 기계적 물성 등을 통해 조사되어졌다. 유전체 분광기는 여과 이론이 합쳐진 필러-필러 연결체로 구성된 CB네트워크의 여과 한계점을 결정하는 것으로 사용되었다. 합성의 기계적 분석을 위한 일반적인 시험 장비는 필러-필러 연결체와 필러-고분자 상호작용을 관찰하기 위해 사용되어졌다. 필러-필러 결합들은 스윙 온도의 근거로 아레니우스 식에 의해 결정되어졌다. 필러-고분자 상호작용과 필러-필러 연결체는 히스테리시스 손실과 압박 스윙의 기준에 대한 강화 인자 분석과 준정적 응력 변형에 의해 결정되어진다. Marier와 Goritz에 의해 제안된 다양한 네트워크 밀도의 모델은 저장탄성율에서 필러-고분자로 구성된 안정한 결합과 안정하지 않은 결합의 요인을 설명하는 것에 쓰일 수 있다. 이를 통해 필러 네트워크의 관투지점이 회전 속도 증가와 필러-필러 연결은 어느 정도에서 회전 속도가 증가함으로써 영향을 미쳐 특정한 CB 표면 구역 감소의 증가로 연결되는 것을 확인하였다. 반복 변형은 명백히 관투 한계점에 영향을 받지 않았다. 이것은 필러-필러 연결이 반복 변형에 의해 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다. 그러나, 필러-고분자 상호작용은 몇몇 기계적 물성의 다양함을 위한 정확한 조사에 따른 절차에 의해 약해진다. 우리는 육안으로 보이는 기계적 물성과 CB 농도 사이의 새롭고 흥미로운 연관성을 찾았다. 이러한 결과의 순수 분자는 오버랩 모델과 일반적인 분자 슬립 이론과 결합된 것에 의해 논의되어졌다.

¹⁴C의 비교 분석과 페타이어의 바이오매스 함량의 정량적 분석을 위한 TGA기술

TGA와 ¹⁴C기술에 의한 ELTs의 바이오매스 함량의 측정 결과를 비교하였다. 다른 종류의 샘플들은 준비하여, 바이오매스 부분의 각각 샘플은 두 가지 분석 방법을 사용해서 측정되어진다. 6개의 기준 샘플은 기준 천연고무와 TGA분석을 위해 필요한 검량선을 얻기 위한 스테아린산과 ¹⁴C분석의 결과의 정확성을 확인하기 위해 준비되어진다. 결론은 ¹⁴C기술은 폐기타이어의 바이오매스 내용물을 결정하기 위해 더 유효하고, 신뢰할 수 있는 정밀한 방법이다. 실제고무와

스테아린산 내용물은 동시에 일어나는 기준 샘플의 ^{14}C 테스트의 결과 때문에 완벽하게 일치하는 반면, TGA 결과는 기준 샘플의 천연 고무 내용물 뿐 만 아니라 ^{14}C 기술의 결과와도 상당한 차이를 나타내었다. 그러므로 이 방법은 페타이어의 바이오매스 내용물을 결정하는 데에 사용하는 것은 적절하지 않다.

에틸렌 단위의 높은 분율을 가진 EPDM의 과산화물 가교 결합

많은 양의 문헌을 통해 연구된 바와 같이 과산화물 분자의 열분해에 의해 개시된 라디칼 체인 반응을 통하여 발생하는 EPDM의 퍼옥사이드 가교결합의 메카니즘 설명이 가능하다. 이 라디칼 체인 반응에 따라 모든 종류의 불안정한 탄화수소 결합은(예를 들어 알킬, 메틸, 그리고 메틸의 CH결합) 알콕시 라디칼에 노출 되어졌고, 탄성체의 네트워크의 공식에 연루되어져 있다. 그러나 높은 분율의 에틸렌 유닛(60몰분율 이상)은 단순한 운동과 열화학적 분석이 라디칼 공격에 의해 필수적으로 메틸렌의 CH결합을 일으킨다는 것을 보여준다. 이 주장은 간단한 기계론적인 3개의 상용 EPDM 연구들을 위해 제안되어졌다. 화학 작용의 기초 개념을 사용하여 새로운 계획으로부터 얻어진 대응 운동 모델은 이중결합과 가교결합 밀도 변화를 통해 메인 반응하는 관능기의 농도 변화에 접근을 제공한다. 이러한 예측의 타당성은 결국 자가 가교결합 고무의 연구를 통한 5개 구역의 분석 기술에 의해 확인 되어졌다.

탄성체 수명 예측을 위한 가속 노화 기술의 도전

수십 년 시간의 공기나 높은 습도에 노출되면 탄성체는 종종 물성이 저하된다. 수명 추정치는 일반적으로 주위 환경보다 더 높은 온도에서 만든 가속 노화 결과를 외삽하여 포함한다. 이러한 연구와 관련된 몇 가지 잠재적인 문제를 검토하고, 그들을 해결하기 위한 실험과 이론적 방법은 제공하였다. 열화 데이터의 시간-온도 중첩의 검증 중요성은 분해 프로세스의 전반적인 자연 가속도 대비 온도 변화가 발생하지 않는다는 증거로 강조되어진다. 확산 한정 산화(DLO)는 가속 조건 하에서 발생할 때 생기는 교란의 효과를 설명

하고, 그것은 DLO의 크기가 측정 또는 산소 투과 계수(POX) 및 산소 소모 속도(ϕ)의 추정치에 의해 모델링 될 수 있다는 것을 나타낸다. 수두와 ϕ 측정 DLO에 의해 유도될 수 있는 방법을 설명하였으며, DLO 효과를 차단하는 여러 실험 프로파일링 기법이 논의 되어진다. 주변에 가까운 온도로 고온에서 채취한 ϕ 값은 더 확실한 값을 가지고, 공기 노화 물질의 가속 노화의 결과를 추정하는 데 사용할 수 있다. 많은 연구를 통해 아래니 우스 외삽은 활성화 에너지를 낮출 수 있음을 표시 할 수 있다. 습도에 노출된 재료의 가속 노화 추정을 위한 최선의 방법을 제공하고 있다.

거대 변형 아래에서의 비선형 점탄성 거동의 모델링

고전적인 켈빈-포크트 모델은 고무와 같은 재료의 비선형 점탄성 거동을 설명하기 위해 선형 스프링이 체인 스프링으로 대체되는 큰 변형 하에서 개발되었다. 이 모델은 단순한 수학적 구조를 가지고 세 개의 재료 매개 변수를 갖는다. 모델은 비선형, 선형에서 광범위한 폴리머의 점탄성 거동의 주요 기능을 통합할 수 있었다.

MOVING DIE RHEOMETER를 이용한 EPDM의 과산화물 가교 I. 과산화물 함량과 ENB 모노머 농도의 영향

ENB 모노머가 과산화물 경화된 EPDM의 네트워크 구조에 미치는 영향을 평가하기 위하여 ODR, NMR, DMA 및 IR 등을 이용하여 조사하였다. 고무 탄성 이론에 의하면, 토크의 측정 결과 과산화물 경화 EPDM의 네트워크 구조는 부가 반응(Cadd)과 결합 반응(CCOM)을 통한 화학적 가교를 포함한다는 것을 보여 주었다. 그리고 가교 밀도의 기여와 전체 가교 밀도(CEN)의 네트워크 결합 및 전체 가교 밀도(CTOT)는 과산화수소의 함량과 함께 직선적으로 증가했다. ENB 농도의 증가는 과산화물 가교 효율을 향상시키기 위해 유익했지만, 그것은 EPDM의 디엔의 감소를 초래했다. CEN은 제3의 모노머 조치 함량에 의존하고, 그리고 그것은 낮은 과산화수소 함량으로 CTOT에 지배적인 영향을 제공한다. 또한 CCOM 및 소자 Cadd는 직선으로 과산화물의 함량에 의존하고 있었

고, 후자는 또한 ENB 수준에 의해 좌우되었다.

SBS 블록 공중합체/실리카 나노 복합재료의 최종 성능과 가교 속도

스티렌-부타디엔-스티렌 블록 공중합체(SBS)를 이용하여 가황된 나노 실리카 복합 재료의 최종 성능과 가교 속도를 분석하였다. 그 결과, 실리카의 존재가 SBS의 경화 반응에 영향을 준다는 것을 확인하였고, 추가적인 가열을 통한 그보다 높은 활성화 에너지는 SBS와 실리카 나노 복합 재료의 완전한 경화를 이룰 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 샘플은 주사 전자 현미경, X선 분광, 전자현미경, 인장 시험 방법을 이용하여 평가하였다. 실리카 나노복합재료의 인장강도, 경도 및 내마모성은 SBS 매트릭스의 다른 실리카 나노 입자의 내용물을 통합함으로써 상당한 증가를 보였다. 그러나 실리카 나노 입자는 경화된 순수 SBS에 비해 파단시의 탄성률의 저하를 발생시킨다.

실리카 보강 타이어의 TRACTION과 ROLLING RESISTANCE에 미치는 올리고머 수지의 영향 이해

본 연구에서는 올리고머 수지의 유익한 효과를 확인하기 위하여 승용차의 타이어 트레드용 스티렌-부타디엔 고무화합물의 실리카 강화에 대하여 연구한 것이다. 예측된 주요 타이어 성능 인자는 회전 저항(습윤)이고 실험실 저울로 측정된 것은 미끄러짐 저항이다. 3 종류의 수지가 테스트에 사용되었다(polyterpene, terpenephenoic, pure vinyl-aromatic hydrocarbon 수지는 다양한 농도에서 고무 100 당 2,4, 6PHR.). 고무에서 이러한 수지의 거동을 평가하기 위하여 DMA, 무니 점도, 큐어측정기, 인장 시험 및 경도를 시험하였다. DMA는 수지와 고무 화합물이 사용되는 낮은 수지 양을 위해 부분적으로 사용될 수 있음을 보여준다. 온도에 대한 $\tan\delta$ 손실 계수는 wet skid와 구름 저항의 지표로 사용했다. 수지의 탄젠트 δ 피크 이동 때문에 탄젠트 δ 피크에서 더 높은 온도로의 이동은 향상된 wet skid 성능의 이유이다. wet 스키드 영역(0-30°C)에서 약 35%의 가장 큰 개선 효과를 확인할 수 있다. 60°C에서의 개선된 $\tan\delta$ 는 회전 저항의 지표와 필러 입자 사이의 상호 작용을 줄이기 위해 차지하고 있다. 이것

은 Payne 효과의 감소에 의해 확인된다. 약 15%의 가장 큰 개선은 수지의 특정 선택에 의존하며, 회전 저항의 온도 범위에서 볼 수 있다.

ETU와 산화아연을 이용한 CR고무 가교 메커니즘

폴리클로로프렌 고무(CR)의 가교에서 Ethylene thiourea(ETU)와 산화아연(ZnO)과의 조합에 의한 메커니즘을 조사하였다. 이것은 별도로 ETU와 ZnO와 CR 가교 메커니즘의 검토를 통해 달성되었다. 분광 및 물리적 특성 평가 기술은 ETU 유사한 구조와 기능을 가진 다른 표준 고무 가황 촉진제 및 모델 화합물을 이용하여 CR의 가교 메커니즘을 조사하는데 사용했다. 이러한 조사는 새로운 메커니즘과 ETU, ZnO가 존재하는 가교 CR용으로 메커니즘을 지원하는 새로운 증거를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

타이어 고무의 하이퍼-엘라스틱 성질에 미치는 카본블랙의 보강 영향 분석

탄성체의 기계적 거동에 미치는 필러 입자의 강력한 보강 효과는 수십 년 동안 알려져 있어 타이어 산업의 고무 재료 보급에 공헌하고 있다. 자동화된 그리드 시험법을 사용함으로써 다른 엘라스토머 매트릭스를 갖는 카본 블랙을 충전한 타이어용 고무의 세 가지 대표적인 기계적 테스트가 수행되었다. 그리고 그 초탄성 특성에 카본 블랙 보강의 영향이 대두되어 논의되고 있다. 실험 데이터는 첫 번째 불변하는 응력의 증폭에 근거한 고전적인 구성 모델의 직접적인 평가를 가능하게 했다. 비교 결과, 이 모델이 명시적으로 어떤 온도에서 고무 타이어의 하이퍼 탄성 보강 의존성을 취할 수 있는 것을 보여준다. 또한, 이 보강된 타이어 고무의 적당한 변형은 유한 수지 해석을 이용하여 연구된다. 입자 클러스터의 효과를 얻기 위해 카본블랙 입자가 다른 공간 분포(정규 랜덤 분산, 무작위 분산을 응집)를 가지는 엘라스토머 매트릭스는 유한 요소 시뮬레이션을 통해 분석된다. 실험과 계산 결과의 비교는 입자 분포를 고려하는 것의 중요성을 강조하고, 자료의 성공 모델은 주로 그 미세 구조의 복잡성에 대한 합리적인 대응이 필요로 하는 것을 제안하고 있다.

천연고무의 스티렌 그래프트 공중합에 의한 나노매트릭스 구조

NR을 나노 매트릭스 구조의 고무를 생산하기 위해 채택하였으며, 개시제로서 tert-butyl hydroperoxide/tetraethylenepentamine을 사용하여 라텍스 단계에서 NR(DPNR)에 스티렌을 그래프트 공중합하여 나노 매트릭스 구조를 형성하였다. DPNR 폴리스티렌(DPNR 이식-PS)로 이루어진 그래프트 공중합체는 ¹H-NMR 분광법 및 투과형 전자현미경에 의해 분석하였다. 그래프트 공중합은 적절한 변성 조건에서 스티렌의 그래프트 효율은 각각 80-98 mol%로 나타났다. DPNR 그래프트-PS의 모폴로지는 투과형 전자현미경으로 관찰했다. 약 1 μ m 직경의 고무 입자는 두께가 10~30 나노미터로 폴리스티렌 매트릭스에 분산되는 것으로 밝혀졌습니다. DPNR의 인장 특성은 극성 DPNR과 비교하여 나노 매트릭스 구조를 형성함으로써 개선되었다.

PA6/불소고무 기반 열가소성 탄성 복합체 이산화탄소 레이저 커팅의 실험적 연구

FKM/PA6 혼합 열가소성 탄성체 및 동적가교형 열가소성 탄성체의 저전력 이산화탄소 레이저 절단 공정에 대하여 보고하였다. 주로 연구 레이저 프로세스 매개 변수는 레이저 파워, 절단 속도 및 재료의 두께이다. 레이저 절단(커팅 폭) 사이에 형성된 슬릿의 상단과 하단 폭의 값은 횡단 면적을 용융하여 단위 시간당 용융 체적을 측정하고 분석했다. 흥미롭게도, TPE는 작은 용융 영역을 나타내고, PA6와 그 값과 비교하면 단위 시간당의 유사양을 용융했다. 동적 가황은 또한 이러한 값을 감소시켰다. 예를 들어, PA6 및 TPE의 용융 영역은 40 W의 레이저 파워로 TPV에 비해 238 × 10⁻³ 평방 밀리미터로 감소하여 각각 510 × 10⁻³ 평방 밀리미터와 305 × 10⁻³ 평방 밀리미터였다. FKM은 최저치 (180 × 10⁻³ 평방 밀리미터의 용융 영역)을 나타냈다. 또한 절단면의 출력 품질은 사각형 컷 에지(RMS) 거칠기 및 열영향영역(HAZ)의 평균 제곱근을 측정함으로써 조사할 수 있었다. 얻어진 결과를 PA6와 비교하면 HAZ 및 RMS 거칠기의 크기가 TPE에서 크게 감소하는 것으로 확인되었다. 예를 들어, PA6의 HAZ는 40W의 레이저 파워 TPE 230 마이크로 감소 700

마이크론이었다. 한편, HAZ는 FKM에서 나타나지 않았다. 적외선 분광 분석은 재료의 표면에 저전력 CO₂ 레이저를 적용한 후, TPE 또는 자연 그대로의 고무에서 구조적 변화는 없었다는 것을 보여주었다. CO₂ 레이저 절단은 관련업계에서 새로운 기술이므로 본 연구를 통한 분석은 고무, TPE류, 그리고 TPV의 기계 가공에서 적절한 레이저 시스템을 선택하기 위한 공정 매개 변수의 철저한 정보와 제조 사업을 지원한다.

IN SITU POLYMERIZATION으로 합성된 PU/MMT 유기변성 나노복합재료의 기계적 특성

본 연구에서는 이소시아네이트 말단기와 디아민 사슬 연장제(4,4-메틸렌-비스-(2-클로로 아닐린))를 사용하여 제조한 에테르 기반 프리폴리머의 in situ polymerization 반응을 통해 폴리우레탄(PU)/유기변성 MMT(cloisite[®]30B) 복합재료를 합성하였다. 합성된 고무분자는 전처리 한 탄소강 시트에 캐스팅하여 오븐에서 120°C에서 경화시킨다. PU 및 그 복합체는 푸리에 변환적외선 분광, X선 회절(XRD) 및 기계적 시험을 이용하여 시험하였다. 1~3 wt% cloisite 30B를 포함하는 경화한 시료의 XRD 분석을 통해 0.5wt%의 나노 입자 실리케이트 층에서 삽입 부분이 나타남을 확인하였다. 최고의 기계적 특성은 경화 박리 실리케이트 층의 시료를 이용하여 얻은 것으로 나타났다. 순수한 PU에 비해 인장 강도가 2배 가량 증가하여 2.3 배의 접착 강도의 증가가 나타났으며 구조 샘플은 순수한 PU에 비해 마모가 16% 감소를 나타냈다.

고무상 재료와 마이크로 격자 구조 기반의 하이브리드 복합재료의 압축 기계적 거동

본 논문에서는 실온 가황 실리콘, 천연 고무, 네오프렌 고무를 포함한 세 가지 고무에서 선택적 레이저 용융법에 의해 제조된 스테인리스 마이크로 격자 구조를 사용하여 얻어진 복합 재료의 압축과 에너지 흡수 특성을 조사하였다. 가압 온도 및 높은 압력 하에서 천연고무와 네오프렌 고무의 복합체를 구축하는 단계에서 격자의 공간에 침투하도록 시험을 설계했다. 실리콘/네오프렌 매트릭스 복합 재료는 특히 소형 격자 구

성물에 해당하는 격자 구조와 비교하여 매우 유사한 응답거동 뿐 아니라 에너지 흡수 능력을 보여주었다. 천연고무 매트릭스를 갖는 복합 재료의 압축 시험을

통해 복합재료 구성물의 각각의 기계적 물성의 큰 차이가 나타나지 않음을 확인할 수 있었다.