

혼합물 실험계획법을 이용한 유색 EPDM의 첨가제 배합비에 따른 기계적 특성 분석

박윤아*, 전의식**,#, 김영신***, 이현승****

*공주대학교 미래융합공학과, **공주대학교 미래융합공학과,

공주대학교 생산기술연구소, *(주)대성하이테크

Analysis of Mechanical Properties of Colored EPDM Based on Additive Mixing Ratio Using Mixture Design of Experimental Method

Yoon-A Park*, Euy-Sik Jeon**,#, Young-Shin Kim***, Hyun-Seung Lee****

*Department of Future Convergence Engineering, Kongju National University,

**Department of Future Convergence Engineering, Kongju National University,

***Industrial Technology Research Institute, Kongju National University,

****DAESUNG HI-TECH Co., Ltd

(Received 02 June 2022; received in revised form 04 July 2022; accepted 14 July 2022)

ABSTRACT

With the recent increase in the demand for electric vehicles, it is necessary to identify the high current safety of automobile parts. Among the automobile parts, the EPDM parts required colored parts from the existing black; therefore, it was necessary to change the basic filler from carbon black to silica. The rubber used in automobile parts is flexible and exhibits basic characteristics of high strength and elongation. However, as the filler is changed to silica, its physical properties, such as tensile strength and elongation, are lower than those of the existing carbon black base. Therefore, it is necessary to evaluate the mechanical properties with the addition of the EPDM compound using silica as a base without degrading the physical properties of EPDM. In this study, an experiment based on the additive content was performed using the mixture experimental planning method to analyze the mechanical properties according to the additive type and mixing ratio of silica-based EPDM. The mixing ratio of the four additives was set using a simplex lattice design, and the tensile strength, elongation, modulus 300%, and permanent compression reduction rate were analyzed for mechanical characteristics, and rheometer experiments were performed for vulcanization characteristics. Through statistical analysis of the measured data, the main effects and interactions of the EPDM-blended rubber additives were analyzed. These results can be used to derive a mixing ratio of additives that satisfies the required characteristics of the EPDM compound.

Keywords : Colored EPDM(유색 EPDM), Additive(첨가제), DOE(실험계획법), Mixing Ratio(배합비), Mechanical Properties(기계적 특성)

1. 서 론

고무는 우수한 탄성과 절연 특성을 가지고 있어 자

동차, 우주 항공 분야에 진동 방지 및 기밀용 소재로 널리 이용되어 왔으며 외부 요인으로 물리적 성질이 저하되고 균열이 발생하거나 연화되기 쉬운 단점을 보완한 고무 소재로 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer)이 개발되었다. EPDM은 고무의 종류 중 하나로 산소나 오존, 열, 자외선 등에 대한 저항성이 때

Corresponding Author : osjun@kongju.ac.kr

Tel: +82-041-521-9284

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

우 강하고, 고온에서도 안정하며 충전재의 고충전이 가능하여 경제성이 우수한 소재이다. 상온에서는 고무의 탄성을 가지며, 고온에서 성형성이 우수하여^[1] 주로 자동차용 호스, 튜브, 그로멧 등 다양한 부품에 사용된다^[2].

최근 전기자동차의 수요 증가에 따라 자동차 부품의 고전류 안전 식별이 필요하다. 자동차 부품 중 EPDM 소재 부품은 기존 검은색에서 유색의 부품이 요구되어 기본 충전재를 카본블랙에서 실리카로 변경이 필요하게 되었다. 자동차 부품에 사용되는 고무는 유연하며 강도와 연신율이 높은 특성을 가져야 하는데 충전재를 실리카로 변경함에 따라 기존 카본블랙 베이스의 EPDM보다 인장강도나 연신율이 떨어지는 등 물성이 저하되는 현상이 발생한다.

고무 배합물 연구 분야에서는 물성을 개선하기 위해서 첨가제를 넣거나 배합비를 다양하게 설정하는 연구 등이 진행되고 있으나^[2-3] 카본블랙 베이스 EPDM 배합물의 첨가제에 따른 물리적 특성 분석 중심으로 연구가 진행되고 있다^[4-6]. 실리카 베이스 EPDM 배합물에 대한 물리적 특성 분석 연구는 부족하다. 실리카 베이스 EPDM 배합물의 물리적 특성을 분석하기 위해서는 첨가제에 따라 발생하는 주효과와 실리카를 충전하였을 때 각 첨가제 간 상호 작용을 분석할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 실리카 베이스 EPDM 배합물의 첨가제 종류 및 배합비에 따른 기계적 특성 분석을 위해 혼합물 실험계획법을 사용하여 첨가제 함량에 따른 실험을 수행하였다. 4종의 첨가제의 배합

비는 심플렉스 격자 설계를 통해 실험조건을 설정하였으며 기계적 특성분석을 위해 인장강도, 연신율, 모듈러스 300%, 영구압축 줄임률을 분석하고 가황특성 분석을 위해 레오미터 실험을 수행하였다. 측정된 데이터의 통계적 분석을 통해 첨가제가 EPDM 고무에 영향을 주는 주효과 및 교호작용 등을 분석하였다.

2. 실험

2.1 배합비 설정

2.1.1 원료

EPDM 배합물을 제조하기 위해 사용된 EPDM, 그리고 7가지의 충전제를 Table 1에 나타내었다. 실리카가 충전된 EPDM 고무는 금호폴리켄에서 생산한 KEP960(45.5%)과 KEP570(54.5%)을 사용하였으며 가황제 S-80, 티아졸기반 충전제 M-75, DM, 티우람 기반 충전제 TT, TRA, 서페나마이드 기반 충전제 CZ, 디티오카르바메이트계 충전제 BZ는 Nexen corp.에서 제공하여 사용하였다.

2.1.2 혼합물 실험 설계

실리카 베이스 EPDM 고무 배합물에 대한 첨가제의 영향을 분석하기 위해 Table 2와 같이 배합비를 설정하였다. 다양한 성분을 혼합하여 개별 성분이 반응 변수에 미치는 영향을 확인하고 최적의 혼합비를 도출하기 위한 방법으로 배합비 설정을 위한 혼합물 실험계획법을 사용하였다. X_i 를 i 번째 성분의 혼합 비율이라고 할 때, q 개의 성분의 혼합비율은 다음 식을 사용하여 설정하였다^{[5],[7]}.

$$\sum_{i=1}^q X_i = 1, X_i \geq 0 \quad (1)$$

본 연구에서는 다양한 혼합물 실험계획법 중에서 모든 영역에 실험점을 균일하게 배치하는 심플렉스 격자 설계배열법^{[7],[8]}으로 Minitab을 사용하여 혼합물 디자인을 설계하였다. 선행 연구를 참고하여^[5] 실리카를 배합한 EPDM에 안정적인 성질을 가지며 고무의 필수적인 특성을 갖게 하는 M-75, DM, S-80 등의 기저 소재는 동일한 함량을 유지하였으며 TT, TRA, CZ, BZ의 배합비는 런 순서마다 변경하여 배합조건

Table 1 Materials used in this study

Materials	Grade	Source
EPDM	KEP960	Kumho Polychem
EPDM	KEP570	Kumho Polychem
Sulfur	S-80	Nexen
Acc	M-75	Nexen
Acc	DM	Nexen
Acc	TT	Nexen
Acc	TRA	Nexen
Acc	CZ	Nexen
Acc	BZ	Nexen

Table 2 Materials used in this study

Sample	EPDM	M-75	DM	S-80	TT	TRA	CZ	BZ	Total
1	200.00	0.54	0.28	0.76	0.30	0.30	0.30	1.48	203.94
2	200.00	0.54	0.28	0.76	1.18	1.18	-	-	203.94
3	200.00	0.54	0.28	0.76	-	-	1.18	1.18	203.94
4	200.00	0.54	0.28	0.76	0.30	1.48	0.30	0.30	203.94
5	200.00	0.54	0.28	0.76	-	1.18	-	1.18	203.94
6	200.00	0.54	0.28	0.76	-	-	-	2.36	203.94
7	200.00	0.54	0.28	0.76	1.48	0.30	0.30	0.30	203.94
8	200.00	0.54	0.28	0.76	-	2.36	-	-	203.94
9	200.00	0.54	0.28	0.76	0.59	0.59	0.59	0.59	203.94
10	200.00	0.54	0.28	0.76	1.18	-	1.18	-	203.94
11	200.00	0.54	0.28	0.76	2.36	-	-	-	203.94
12	200.00	0.54	0.28	0.76	0.30	0.30	1.48	0.30	203.94
13	200.00	0.54	0.28	0.76	-	-	2.36	-	203.94
14	200.00	0.54	0.28	0.76	1.18	-	-	1.18	203.94
15	200.00	0.54	0.28	0.76	-	1.18	1.18	-	203.94

을 설정하였다. Table 2는 혼합물실험계획법에 의해 설계된 실험조건표이며 배합된 원료들은 중량 단위 g로 설정하였다. 각각의 샘플들의 원료들의 총량은 203.94g으로 동일하게 실험 설계하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 EPDM 배합물

EPDM 배합은 ISO 2393에 근거하여 계량 및 배합, 혼련, 숙성 순으로 크게 3단계로 진행하였다⁹⁾. 혼합물 실험계획법으로 설계된 배합비에 따라 미가황 고무에 배합할 촉진제를 계량 후 배합하였다.

혼련은 고무와 촉진제를 고르게 섞는 단계로, 약품의 배합비와 균등한 분산이 중요한 관리 항목이다. 롤러 표면 온도는 40 °C 이하로 유지한 채 배합비 시료 당 혼련은 5분 동안 원재료만 혼합시킨 뒤 촉진제 투입 후 추가적으로 5분 혼합하였으며, 마찰에 의한 롤러 표면 온도가 상승하여 스코치가 발생할 우려가 있으므로 30분 혼련 후 10분 자연 냉각하였다. 숙성은 혼련을 거쳐 안정화시키는 단계로 평균 온도 25°C, 습도 60% 이하의 환경에서 16시간 이상 숙성을 진행하였다.

2.2.2 가황 특성 분석을 위한 시험방법

EPDM 고무 배합물의 가황특성을 분석하기 위해 KS M 6687¹⁰⁾에 따라 시편(Ø20×12.5mm)을 제작한 후 Rheometer를 사용하여 측정하였다. Rheometer 시험은 180 °C에서 6분 동안 수행하였으며 Rheometer를 통해 최대 토크(T MAX), 최소 토크(T MIN), 스코치 시간(TS), 가교시간(TC) 등 다양한 값을 얻었다. TS와 TC는 스코치 시간과 가교 시간을 나타내는데 이는 가황이 시작되고 완료되는 시간의 측정값으로 고무 공정에서 원료 간의 가교 반응이 원활하게 이루어져 점성과 탄성의 특성을 가져야하는 고무의 특성을 파악하기 위해 측정하였다⁶⁾.

2.2.3 기계적 특성 분석을 위한 시험방법

기계적 특성 분석을 위해 다양한 물성 시험을 수행하였다. KS M 6518에 따라 경도시편(Ø29×12.7±0.13mm)을 제작하였다¹¹⁾. 경도 시험은 Type A형 경도계를 사용하여 시편과 수직으로 위치하여 좌면이 확보되는 위치에 침을 조준하여 1,000g의 하중을 가하여 측정하였다.

인장강도, 연신율, Modulus 300%는 KS M 6518에

따라 아령형 3호의 인장시험편을 제작하여 인장시험기(Universal Testing Machine)를 사용하여 약 25°C 에서 500±25mm/min의 속도로 측정하였다^[11]. 측정값은 배합물마다 각각 5번씩 반복시험을 수행하여 최대치와 최소치를 제외한 3개의 평균값으로 산출했다.

영구압축줄임률은 KS M 6518에 따라 영구압축줄임률 시험편(Ø29×12.7±0.13mm)을 제작하였다. 시험은 초기 시험편의 두께를 측정 후, 시험편을 압축판 사이에 끼우고, 압축판이 스페이서에 밀착할 때까지 압력을 가한 뒤 열처리 후 30분 후의 최종 두께를 측정하였다^[11].

Table 3 Cure characteristics of the compounds

Sample	ΔT (Nm)	T MAX (Nm)	T MIN (Nm)	TS 1 ¹⁾ (mm:ss)	TS 2 ²⁾ (mm:ss)	TC10 ³⁾ (mm:ss)	TC50 ⁴⁾ (mm:ss)	TC90 ⁵⁾ (mm:ss)
1	1.79	2.23	0.44	00:33	00:45	00:33	02:45	04:56
2	1.96	2.40	0.44	00:41	00:53	00:31	02:36	04:40
3	1.72	2.15	0.43	00:38	00:51	00:32	02:44	04:54
4	1.97	2.42	0.45	00:36	00:49	00:31	02:35	04:39
5	1.85	2.33	0.48	00:31	00:41	00:33	02:45	04:56
6	1.52	2.01	0.49	00:24	00:35	00:34	02:50	05:05
7	1.90	2.39	0.49	00:36	00:48	00:32	02:39	04:45
8	2.12	2.58	0.46	00:38	00:52	00:32	02:40	04:47
9	1.90	2.37	0.47	00:35	00:47	00:32	02:42	04:52
10	1.72	2.14	0.42	00:40	00:53	00:32	02:38	04:44
11	1.87	2.31	0.44	00:36	00:49	00:27	02:14	04:00
12	1.77	2.19	0.42	00:43	00:57	00:31	02:35	04:39
13	1.57	1.97	0.40	01:18	01:41	00:28	02:21	04:13
14	1.84	2.28	0.44	00:35	00:47	00:33	02:44	04:54
15	1.93	2.33	0.40	00:40	00:53	00:32	02:39	04:46

- 1) TS 1 : T MIN에서부터 토크가 1UNIT 단위로 상승할 때까지 걸리는 시간
- 2) TS 2 : T MIN에서부터 토크가 2UNIT 단위로 상승할 때까지 걸리는 시간
- 3) TC10 : T MIN에서 T MAX를 100으로 보았을 때 10% 경화할 때까지 걸리는 시간
- 4) TC50 : T MIN에서 T MAX를 100으로 보았을 때 50% 경화할 때까지 걸리는 시간
- 5) TC90 : T MIN에서 T MAX를 100으로 보았을 때 90% 경화할 때까지 걸리는 시간

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 배합비에 따른 가황 특성 분석

EPDM 배합물의 가황특성을 측정하기 위해 Rheometer 시험을 수행하였으며 그 결과는 Table 3과 같다. 결과를 바탕으로 가교반응이 가장 빠른 배합물, ΔT 값이 가장 높은 배합물, 평균적인 값을 보여주는 배합물 등의 가황특성을 Fig. 1과 같이 그래프로 나타내었다. 11번 배합물은 다른 배합물들의 평균적인 가황특성 값을 보여주기 때문에 Fig. 1에 대표적으로 나타내었다. Fig. 1에서 6번 배합물은 초기 가교 반응이 빠르지만 최종 ΔT 값이 낮음을 확인할 수 있었으며, 8번 배합물은 초기 가교 반응은 평균적이지만 최종 ΔT 값은 높음을 확인할 수 있었다. ΔT 값이 높은 배합물은 가황이 잘 되어 높은 탄성을 나타낸다는 것을 의미한다^[1].

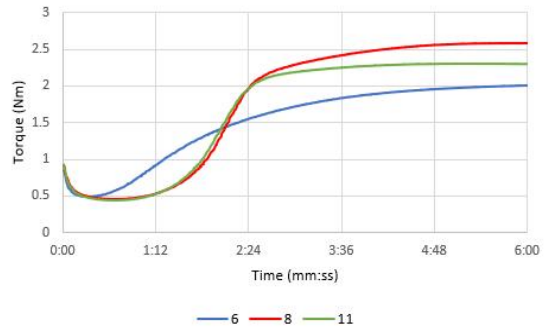


Fig. 1 Rheogram curves in EPDM compounds

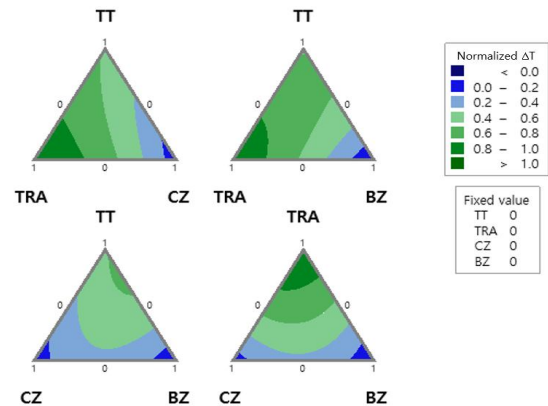


Fig. 2 Contour plot of normalized ΔT

첨가제의 종류 및 배합비에 따라 배합물의 ΔT 값에 미치는 영향도 및 첨가제 간의 교호 작용을 확인하기 위해 도출된 결과를 정규화한 후 Minitab 프로그램을 이용하여 Fig. 2와 같은 등고선도를 나타내었다. ΔT 에 대한 등고선도를 보면 CZ 또는 BZ의 비율이 높아짐에 따라 ΔT 값이 낮아지고, TRA의 비율이 높아짐에 따라 ΔT 값이 높아짐을 확인했다.

3.2 배합비에 따른 기계적 특성 분석

3.2.1 경도

경도 시험 결과 모든 배합비의 값이 약 44 ± 1 정도로 큰 변화는 보이지 않았다.

3.2.2 인장강도

Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 EPDM 배합물의 인장강도를 관찰하였다. 12번 배합물과 13번 배합물에서 인장강도가 높음을 확인하였는데, 측정치를 정규화하여 Fig. 4에서 등고선도를 보면 CZ와 TT의 비율이 높

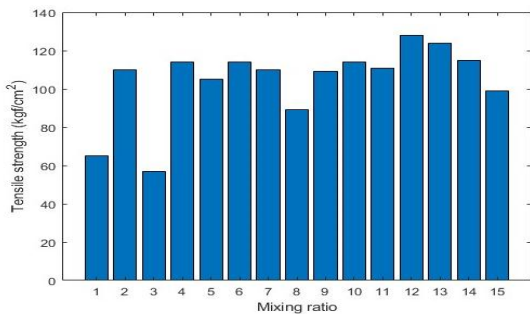


Fig. 3 Tensile strength of cured EPDM compounds

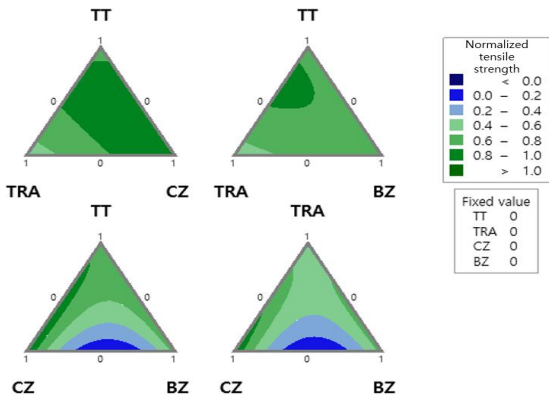


Fig. 4 Contour plot of normalized tensile strength

아짐에 따라 인장강도가 높게 나타나지만 BZ와 CZ가 함께 배합했을 경우에는 인장강도가 낮은 경향을 보이는 것을 확인했다.

CZ는 본래 인장 및 신율 성능을 향상시키는 특성이 있는데 신율을 감소시키는 경향이 있는 TT, TRA, BZ 등 각각 함께 배합하였다^[13]. 실험 결과 TT, TRA와 달리 BZ와 함께 배합할 경우 신율이 감소하는 등 상반된 특성을 확인할 수 있었다. 한 가지 첨가제에 대해 함유량에 따라 비례하게 값이 증가하는 것뿐만 아니라 다른 첨가제와 함께 배합했을 때 상반되는 효과를 보이므로 이는 첨가제 간의 교호작용을 보여준다.

3.2.3 연신율

Fig. 5에서 나타낸 바와 같이 EPDM 배합물의 연신율을 관찰하였다. 13번 배합물, 9번 배합물, 12번 배합물 순으로 연신율이 높게 나타남을 확인하였다. 이에 따라 측정치를 정규화하여 Fig. 6에서 등고선도를 보면 CZ의 비율이 높아짐에 따라 연신율이 높게 나타나며, 큰 차이는 나지 않지만 TT, TRA의 비율이 높거나

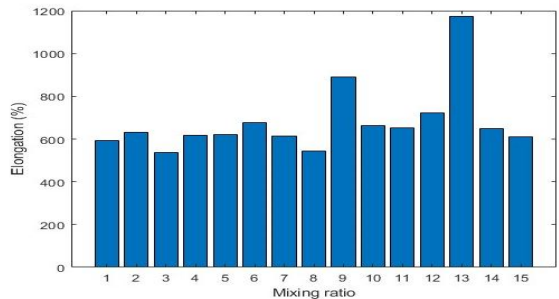


Fig. 5 Elongation of cured EPDM compounds

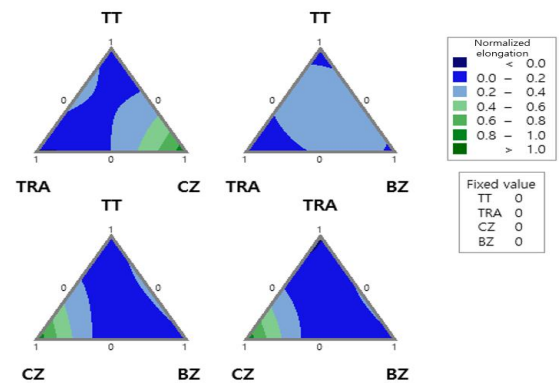


Fig. 6 Contour plot of normalized elongation

CZ와 BZ를 함께 배합했을 경우 연신율이 낮아지는 경향을 보이는 것을 확인했다. 인장강도에서 나타낸 바와 같이 연신율에서도 첨가제 간의 교호작용을 보여준다.

3.2.4 모듈러스 300%

Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 EPDM 배합물의 모듈러스 값을 관찰하였다. 8번 배합물의 모듈러스 300% 값이 가장 높았고, 13번 배합물의 모듈러스 300% 값은 다른 배합물에 비해 현저히 낮음을 확인했다. 이에 따라 측정치를 정규화하여 Fig. 8에서 등고선도를 보면 TRA의 비율이 높아짐에 따라 모듈러스 300% 값이 높게 나타나며, CZ의 비율이 높을 경우 값이 낮아지는 경향을 보이는 것을 확인했다.

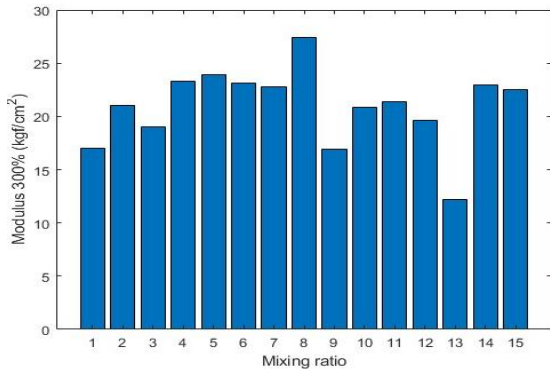


Fig. 7 Modulus 300% of cured EPDM compounds

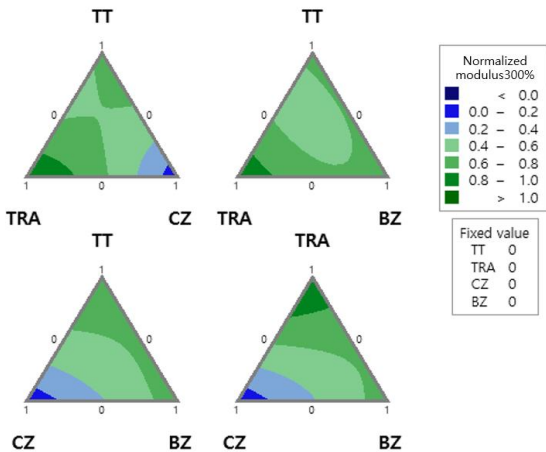


Fig. 8 Contour plot of normalized modulus 300%

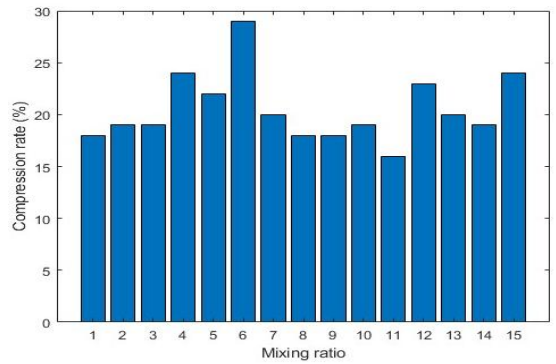


Fig. 9 Compression rate of cured EPDM compounds

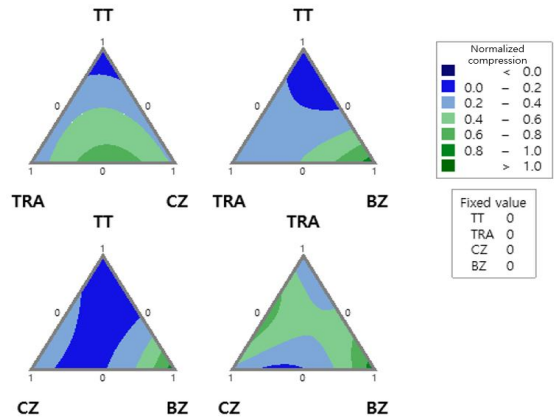


Fig. 10 Contour plot of normalized compression rate

3.2.5 영구압축줄임률

Fig. 9에서 나타낸 바와 같이 EPDM 배합물의 영구 압축줄임률을 관찰하였다. 영구압축줄임률은 16~29%의 다양한 값이 도출되었으며 6번 배합물에서 영구 압축줄임률이 가장 높고, 11번 배합물에서 가장 낮음을 확인하였다. 이에 따라 측정치를 정규화하여 Fig. 10에서 등고선도를 보면 BZ의 비율이 높아짐에 따라 영구 압축줄임률이 높게 나타나며, TT의 비율이 높아지는 경우 영구 압축줄임률이 낮아지는 경향을 보이는 것을 확인했다.

3.3 실험 결과 고찰

EPDM 첨가제 배합비에 따른 가황 특성 및 기계적 특성 분석을 위해 혼합물 실험 계획법을 이용하여 실험을 수행하고 측정 데이터를 정규화하여 비교분석

하였다. 측정치를 정규화하여 분석한 결과, ΔT , 인장강도, 모듈러스 300% 값은 첨가제에 의해 영향을 크게 받음을 확인하였으며, 연신율과 영구압축줄음률은 상대적으로 첨가제의 영향을 적게 받음을 확인했다.

또한 실험결과를 바탕으로 각각의 첨가제가 EPDM 배합물에 미치는 영향을 분석하였다. TT는 인장강도, 모듈러스 300% 값을 대체적으로 증가시키고, 연신율이나 영구압축줄음률을 감소시키는 특성을 갖는다. TRA는 ΔT , 모듈러스 300% 증가, 연신율을 감소시킨다. CZ는 인장강도, 연신율 증가, ΔT , 모듈러스 300% 값을 감소시키며 BZ와 함께 배합했을 경우 인장강도, 연신율, 영구압축줄음률을 감소시킨다. BZ는 영구압축줄음률 증가, ΔT 값을 감소시키는 경향을 확인하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 실리카를 베이스로 한 EPDM 배합물에 대해 첨가제 종류에 따라 혼합물 실험계획법을 사용하여 배합비를 설정한 후 물성 분석 실험을 수행하여 첨가제가 EPDM 배합물의 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 측정된 데이터의 통계적 분석을 통해 첨가제가 EPDM 배합고무의 ΔT , 인장강도, 연신율, 모듈러스 300%, 영구압축줄음률에 미치는 주효과 및 교호작용 등을 분석하였다.

Rheometer 시험 결과 TRA의 비율에 따라 ΔT 의 값은 증가함을 확인하였으며 이는 가황이 잘 되어 높은 탄성을 나타낸다. 또한 인장시험의 경우 CZ, TT 비율에 따라 인장강도, 연신율은 증가하지만 BZ와 CZ를 함께 배합할 경우 감소하는 경향을 보이는 것을 확인했다. 모듈러스 300% 값은 TRA의 비율에 따라 증가하지만 CZ의 비율에 따라 감소하였고, 영구압축줄음률은 TT 비율에 따라 감소함을 확인했다. 이러한 연구결과는 EPDM 배합물의 요구특성을 만족하는 첨가물의 배합비 도출을 결정하는데 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2021년 천안시의 천안실현기술개발사업

(2021-0756-01)과 2019년 중소벤처기업부의 기업연계형 연구개발 인력양성사업 (S2755803)의 지원을 받아 수행된 연구임을 밝힙니다.

REFERENCES

1. Lee, S., Bae, J. S., "Effect of Processing Additives on Vulcanization and Properties of EPDM Rubber", *Journal of Oil & Applied Science*, Vol. 35, No. 1, pp. 173-185, 2018.
2. Do, J. H., Kim, D. Y., Seo, K. H., "Effect of Eco-friendly Inorganic Flame Retardants on Mechanical and Flame-Retardant Properties of EPDM Compound", *Elastomers and Composites*, Vol. 55, No. 1, pp. 40-45, 2020.
3. No, T. K., Kang, D. G., Seo, J. S., Yang, K. M., Seo, K. H., "Effect of Carbon Black on Mechanical and Damping Properties of EPDM/Carbon Black System", *Elastomers and Composites*, Vol. 47, No. 3, pp. 231-237, 2012.
4. Park, C. Y., Hwang, Y. B., "Cure Characteristics, Physical Properties and Ozone Resistance of Butyl Rubber and EPDM Rubber Blends", *Elastomers and Composites*, Vol. 46, No. 4, pp. 329-334, 2011.
5. Kim, Y. S., Kim, Y. T., Jeon, E. S., "Optimization of Accelerator Mixing Ratio for EPDM Rubber Grommet to Improve Mountability Using Mixing Design", *applied sciences* 9, No. 13, 2019.
6. H. Nabil, H. Ismail, A. R. Azura, "Compounding, mechanical and morphological properties of carbon-black-filled (NR/R-EPDM) blends", *Polymer Testing*, Vol. 32, No. 2, pp. 385-393, 2013.
7. Park, S. S., "Using Design of Mixture Experiments to Select the Ratio of a Three-Component Electrode for Optimal Generation of Hydroxyl Radicals", *Journal of Environmental Science International*, Vol. 29, No. 8, pp. 793-800, 2020.
8. Kim, S. J., Park, J. I., "An Optimum Design of Secondary Battery using Design of Experiments with Mixture", *IE Interfaces*, Vol. 18, No. 4, pp. 402-411, 2005.

9. ISO 2393, “Rubber test mixes — Preparation, mixing and vulcanization — Equipment and procedures”
10. KS M 6687, Test method for rubber compound-vulcanizing characteristics using oscillating disk cure meter
11. KS M 6518, Physical test methods for vulcanized rubber
12. Azizli, M. J., Barghamadi, M., Rezaeeparto, K., Mokhtary, M., & Parham, S., “Compatibility, mechanical and rheological properties of hybrid rubber NR/EPDM g MA/EPDM/graphene oxide nanocomposites: Theoretical and experimental analyses”, *Composites Communications*, Vol.22, 10042, 2020.
13. Kim, Y. T., "A Study on EPDM rubber characteristic optimization according to mixed vulcanization activator ratio", A Thesis for a Master Degree, Kongju National University, Republic of Korea, 2018.