

## 자동차 실링 응용 제품을 위한 새로운 NORDEL™ EPDM 개발

Debora Ressnig<sup>1</sup> · Varun Thakur<sup>1</sup> · Colin Li Pi Shan<sup>2</sup> · 이흥구<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Packaging & Specialty Plastics, Dow Europe GmbH, Horgen, Switzerland

<sup>2</sup>Packaging & Specialty Plastics, The Dow Chemical Company, Texas, United States

<sup>3</sup>Packaging & Specialty Plastics, Dow Chemical Korea Ltd., Seoul, Republic of Korea

\*Corresponding Author: hlee13@dow.com Tel.: +82-2-3489-8911

본 연구에서는 촉매기술별 EPDM의 분자구조가 자동차용 웨더실링 제품 성능에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. DOW가 최근 개발한 첨단분자촉매기술(AMC: Advance Molecular Catalysts)은 새로운 분자 설계 기술을 통하여, 기존의 촉매기술인 단일점촉매 기술(SSC: Single Site Catalysts) 대비 EPDM 성능을 향상시킨다. 새로운 촉매 기술 특징은 높은 분자량, 넓은 분자량 분포, Long chain branching (LCB), 높은 디엔 함량이다. 상기 촉매기술은 기존까지 지글러-나타(ZN: Ziegler-Natta) 촉매 기술의 EPDM에만 해당 되는 것으로 알려졌으나, 본 연구결과 AMC 기술적용한 NORDEL™ 6565 XFC (XFC: Extra fast cure)는 기존 메탈로센 기술과 차별화 되며, ZN의 장점을 확보한

것으로 나타났다. 이 제품은 압출제품 성능용으로 설계되었다. 특히, 그린 강도 및 경화속도등 높은 가공 성능을 보이는데, 이는 분자 구조와 관련이 있는 것으로 판단된다. 마지막으로, NORDEL™ 6565 XFC EPDM 성능을 기존의 첨단 SSC나 ZN 촉매 기술에 의한 EPDM 제품과 비교 평가하였다.

### 1. 서론

에틸렌 프로필렌 디엔(EPDM) 고무는 자동차 웨더 실링, 엔진룸 냉각수 호스, 지붕용 멤브레인, 튜빙, 벨트, 전기 절연, 오일 개질 등 다양한 산업용 고무 제품 분야에 사용된다. EPDM은 자동차 웨더실링 제품에

#### Debora Ressnig



2011 BSc, University of Zurich, Chemistry  
2012 MSc., University of Zurich, Chemistry  
2014 PhD, Max Planck Institute of Colloids and Interfaces, Materials Science  
2015-2016 Scientist, Collège de France  
2016-Current Dow Europe GmbH, Switzerland

#### Colin Li Pi Shan



1996 BSc, Queen's University, Chemical engineering  
1998 MSc, Queen's University, Chemical engineering  
2002 PhD, University of Waterloo, Chemical Engineering  
2002-Current The Dow Chemical Company, US

#### Varun Thakur



2011 PhD, Leibniz Institute of Polymer Research, Dresden, Germany  
2011-2014 R&D, Lapp Engineering, Switzerland  
2014-Current Dow Europe GmbH, Switzerland

#### Heung-Goo Lee(이 흥 구)



2001 BSc, Yonsei University, Environmental engineering  
2003 MSc, Yonsei University, Environmental engineering  
2009 MPhil, University of Cambridge, Material Science and Metallurgy  
2003-2015 R&D, Kumho Tire Co., Inc.  
2015-Current Dow Chemical Korea Ltd., Republic of Korea

주로 사용되며, 그 소비량은 전체 EPDM 수량의 25%를 차지한다. EPDM은 내후성과 내열성이 우수하고 다량의 충전제와 공정 오일 사용이 가능하다. 자동차 도어 웨더실링은 수분, 진동, 공기역학에 의한 소음을 차단하며, 안락한 승차감을 제공한다.

도어 실링 시스템은 저밀도 스폰지 부위와 고밀도 부품으로 이루어져 있으며, 차체에 부착되는 금속 캐리어 위로 공압출 된다. 실링 시스템의 구조는 전반적 성능 향상과 심미성 강화를 위해, 지난 수년 동안 고도화 되었다. 웨더실링 생산을 위해서는 EPDM 그레이드 선택시, 빠르고, 안정된 경화 특성과 함께, 균질 혼련, 용융 강도 등에 대한 고려가 필요하다. 이러한 특성을 부여하기 위해서는 EPDM의 분자 설계 및 미세구조가 변경되어야 한다. 높은 분자량, 분지화(Branching) 구조, 높은 디엔 함량, 무정형 EPDM은 웨더실링 용도의 핵심 요구 성능을 충족시키는 데 가장 중요한 요소이다. 높은 분자량과 분지화는 고온 및 저온에서 우수한 탄성 및 압축 특성을 제공하며, 높은 디엔함량은 경화 속도 및 물성 향상을 나타낸다.

EPDM은 용액 및 현탁 공정에서 바나듐 기반 지글러-나타(ZN: Ziegler-Natta) 또는 단일 사이트 촉매(SSC: Single Site Catalysts) 기술로 합성된다. 1963년 첫 EPDM의 상용화 이후 촉매 및 공정 기술은 많은 발전이 있었다. 이중(Bimodal) 분자량 분포를 보이는 ZN 촉매와 기하 구속형 촉매(CGC: Constrained Geometry Catalysis)의 도입이 대표적인 예다[1,2].

DOW는 1997년 NORDEL™ EPDM으로 EPDM 업계에 혁명을 일으킨 독자적인 “INSITE” 촉매 및 공정 기술을 개발했다[3].

INSITE 기술은 잔류 촉매 제거(de-ashing)가 필요 없으며, 이로 인하여 ZN 기술 대비, 촉매 및 잔류 염소량이 줄어든다.

DOW는 단일점촉매기술(SSC)이 도입된 이래로 폴리올레핀 촉매를 세대별로 개발해 왔다. 고속 대량(HTR: high throughput) 촉매 스크리닝 기술을 통하여 제품 성능 및 공정성 향상을 위해, 신규 촉매를 선별하였다(Figure 1) [4,5]. HTR 스크리닝 및 분자 모델링 프로세스를 통해 수천 가지의 촉매 조합을 선별하고 최적화했다. DOW는 높은 공정성과 촉매 효율을 구현함으로써 첨단분자촉매기술(AMC)을 EPDM 산업의 새로운 기준으로 도입하였다.

DOW의 첨단분자촉매기술(AMC) 기술은 신제품 개발을 위한 새로운 성능을 제시한다[6-8]. 예를 들어, 새로운 AMC 기술은 기존 SSC와 비교해 초고분자량, 높은 디엔 함량, Long chain branching(LCB)을 나타내며 신속한 배합이 가능하게 한다[9]. Long chain branch는 매크로모노머 첨가와 폴리머 사슬의 결합에 의해 형성된다. 결과적으로 폴리머 백본과 유사한 길이의 가지구조를 갖는 T-분지형 또는 빗살 구조를 나타낸다. 이렇게 생성된 분자는 겔을 형성하지 않는 특징이 있다. 이는 겔 형성에 영향을 주는 H형 구조를 갖는 바나듐 기반 ZN 촉매 기술에 의한 EPDM과 비교된다. 본 논문에서는 AMC 및 신 공정 기술로 생산된 새로운 EPDM인 NORDEL™ 6565 XFC를 소개하고자 한다. NORDEL™ 6565 XFC는 우수한 기계적 성질을 가진 웨더실링 제품의 경화 속도와 용융 강도를 높일 수 있도록 설계되었다. 새로운 EPDM 구조는 기존 SSC-EPDM에 비해 높은 분자량(MW), 균일한 Long

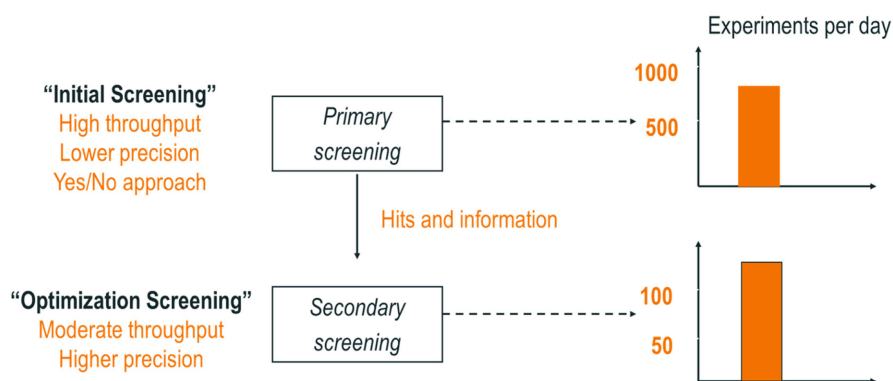


Figure 1. Scheme of the high throughput screening procedure. The term “experiments” includes catalyst synthesis, polymerization, and analysis of performance, polymer properties, etc.

chain branching(hLCB: homogeneous long chain branching), 넓은 분자량 분포(MWD)의 특성을 보인다.

본 연구에서는 경도 65±5 Shore A 웨더실링 조성에, 1세대 NORDEL™ IP 5565 제품과 전통적인 ZN 기반 EPDM (EPDM-A)대비, NORDEL™ 6565 XFC의 성능 효과를 조사하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 원료

원료와 컴파운드 제조에 관한 내용은 Table 1에 요약하였다. 혼련 등 제조공정은 일정하게 유지하면서 EPDM 고무를 변화시켜 가며 분자 구조의 효과를 파악하였다. 본 연구에서는 DOW의 NORDEL™ 6565 XFC, NORDEL™ IP 5565, 상용 ZN 제품 EPDM-A, 3종의 EPDM을 사용하였다.

### 2.2. 컴파운딩

컴파운드 배합을 위해 인터메싱 로터를 갖고 있는 Harburg Freudenberger 인터널 믹서를 사용하였다. 부

피는 1.5L이며, 75%의 충전율로 배합을 진행하였다. 배합과정중 로터 스피드는 45 rpm을 유지하였다. 피드 온도는 50°C였고, 200초 또는 110°C로 조건을 설정한 후 짧은 쪽을 택하여 배합 컴파운드를 배출하였다. 이후, two-roll mill (50°C, 비 1.27)로 3분 동안 밀링을 실시 하여 컴파운드 시트를 제조하였다.

### 2.3. 특성분석

분자량(MW)과 분자량 분포(MWD)는 고온 겔 투과 크로마토그래피(GPC)로 분석했다. 캐리어 용매는 1,2,4-트리클로로 벤젠이고, 분자량은 일련의 좁은 분자량분포의 폴리스티렌 표준을 고려하여 계산하였다.

경화도는 Alpha Technologies rheometer 타입 MDR 2000E를 사용해 15분 동안 180°C에서 Moving Die Rheometer(MDR)로 평가하였다. Mooney 점도와 Mooney 변화도는 대형 로터(ASTM D1646-15)를 사용해 1+4+2 분 모드에서 Alpha Technologies MV2000E 점도계로 측정하였다. Mooney 스코치는 소형 로터를 사용해 120°C에서 평가하였다. 주파수 스위프(frequency sweep)에 대한 영향도는 AI Technologies의 Rubber Process Analyzer RPA 2000을 이용해 변형률 7% 또는 14%에서 측정했다. 순수 EPDM은 125°C에서 측정했

Table 1. Raw materials and compound composition

Ingredient	Function	Phr*	Wt%	Vol%
EPDM		100	30.1	41.3
Spheron 5000A	Filler/Reinforcement	110	33.1	21.7
Silfit Z91	Filler	30	9.0	4.1
Sunpar 2280	Plasticizer	70	21.0	27.7
Rhenogran ZnO-70	Activator	5	1.5	0.6
Stearic acid	Activator	1	0.3	0.4
Rhenogran CaO-70	Desiccant	5	1.5	0.8
PEG4000	Process aid	2	0.6	0.6
Struktol W33	Dispersant	2	0.6	0.6
Retarder E-80	Retarder	0.5	0.2	0.1
Rhenogran MBTS-70	Accelerator	1.5	0.5	0.4
Rhenogran ZBEC-70	Accelerator	1.5	0.5	0.4
RhenogranTP-50	Accelerator	2	0.6	0.6
Rhenogran CBS-70	Accelerator	0.5	0.2	0.1
Rhenogran CLD-80	Curative	1	0.3	0.3
Rhenogran S-80	Curative	0.75	0.2	0.2
Total		332.7	100	100

고 배합 컴파운드는 100°C에서 0.1-100 rad/s의 주파수 간격으로 측정했다. 그린 강도 상관성은 80° 아크 스트레인, 0.1 Hz 및 각각 100°C, 90°C 실험 조건에서 측정했다.

Garvey 다이 압출 프로파일은 Haake Rheomix Extruder 252가 장착된 Thermohaake PolyLab System으로 제조했다. 스크류의 회전 속도는 70°C에서 4.7 rad/s로 설정했고 다이 온도는 110°C였다. 공정조건은 EPDM-A 컴파운드에 최적화 되었고, NORDEL™ EPDM 컴파운드는 동일한 조건에서 압출되었다. 압출 프로파일은 ASTM D2230-96 시스템 A를 기준으로 등급을 판단하였다.

그린 강도는 상온 조건에서 인장 시험으로 평가했다. 시험편을 100°C에서 5분간 가압하고, 시트 방향으로 평행하게 절단한 후, 인장 시험을 통하여 그린 강도를 측정했다.

압축 세트 B형 시험편(ASTM D395)은 180°C에서 9분간 경화 한후, 25% 변형율을 모든 시험편에 적용했다. 압출된 샘플을 23°C, 70°C, 100°C에서 22시간 동안 보관하였다. 인장 특성(ASTM D412)과 인열 강도는 Zwick Roell Z1010을 이용하여 측정했다. 인장 강도는 180°C에서 5분간 경화한 시트에서 시편(유형 5A 덤벨) 절단후 측정했다. 인열 강도는 C형 시험편(ASTM D624)으로 분당 500 mm의 시험 속도로 측정했다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. EPDM 분자 설계 및 유변학적 특성

3종 EPDM의 주요 특성은 Table 2에 정리하였다. NORDEL™ 6565 XFC는 NORDEL™ IP 5565보다 에틸렌(C2)과 디엔(ENB) 함량이 더 높다. 반면에,

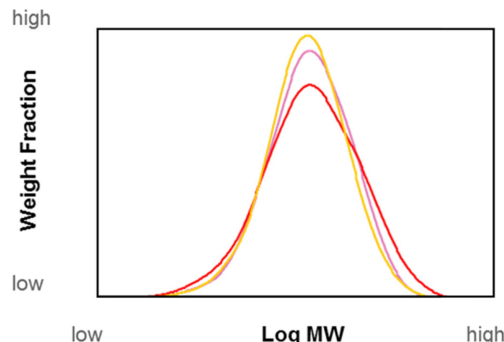


Figure 2. GPC data of NORDEL™ 6565 XFC (red), NORDEL™ IP 5565 (light red) and EPDM-A (yellow).

NORDEL™ 6565 XFC는 ZN 촉매 기술로 제조한 EPDM-A와 에틸렌 및 디엔 함량이 유사하며, Branching 구조 균질성, 겔 민감도, 청결도가 달랐다.

분자량 및 분자량 분포는 GPC 분석으로 조사했다 (Figure 2). 평균 분자량은 모든 3종 EPDM이 유사한 범위를 나타냈다. 분자량 분포는 NORDEL™ 6565 XFC가 더 넓게 나타났다. 또한, NORDEL™ 6565 XFC는 NORDEL™ IP 5565와 EPDM-A와 비교했을 때 분자량이 큰 체인 함량이 높았다. 이러한 차이는 NORDEL™ 6565 XFC로 제조된 고무 컴파운드의 경화 및 물리적 특성 모두에 영향을 줄 것으로 예상된다.

가공 특성은 유변학적 평가를 통해 판단하였다. 예를 들어, Mooney 응력 완화 영역과 Mooney 점도 (MLRA/ML)의 비율은 완화 시간으로 해석할 수 있으며, 고무의 용융 강도를 나타낸다(Table 3). 이러한 Mooney 지표는 EPDM의 분자량(MW), 분자량분포 (MWD), Long chain branching(LCB)에 의한 점성 및 탄성의 조합에 따라 달라진다.

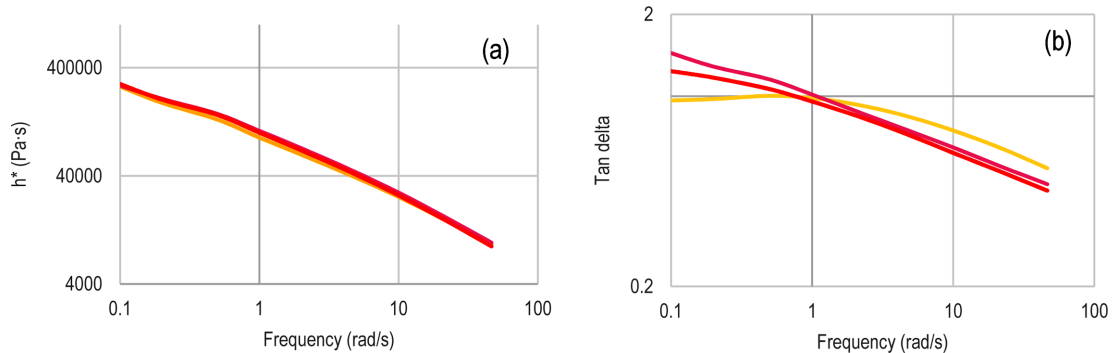
NORDEL™ 6565 XFC EPDM의 경우 MLRA/ML 비율은 NORDEL™ IP 5565대비 높은 값을 보이며,

Table 2. Molecular characteristics, Mooney viscosity & Mooney stress relaxation characteristics of pure EPDMs at 125°C

	NORDEL™ 6565 XFC	NORDEL™ IP 5565	EPDM-A
MWD	Broad	Medium	Broad
LCB	High	Medium	High
Catalyst Technology	AMC	SSC	ZN
C2 wt%	55	50	55
ENB wt%	8.5	7.5	8.1

**Table 3. Mooney viscosity and stress relaxation characteristics of pure EPDMs at 125°C**

	NORDEL™ 6565 XFC	NORDEL™ IP 5565	EPDM A
ML 1+4, 125°C	65	65	65
MLRA (A)	431	355	441
MLRA/ML	6.6	5.5	6.8
RR	50	47	50



**Figure 3. DMS frequency of deformation scan at 125 °C at 14° deformation a) complex viscosity, b) tan delta. Color code: NORDEL™ 6565 XFC (red), NORDEL™ IP 5565 (light red), EPDM-A (yellow).**

기존 ZN EPDM-A와는 유사한 결과를 나타냈다.

다음으로, 등은 유변특성 분석을 변형 주파수의 함수로서 나타냈다. 모든 EPDM은 저주파 및 고주파 영역에서 유사한 컴플렉스 점성을 나타내며, 고주파 영역에서 Shear thinning 경향을 보여준다(Figure 3(a)). 유변 특성 비율(RR: Rheological ratio)은 0.1 rad/s와 100 rad/s에서 복합 점도의 비율로 표현되며, NORDEL™ 6565 XFC와 EPDM-A가 NORDEL™ IP 5565 대비 더 높은 수치를 나타낸다. 이는 Branching 정도와 관련이 있는 것으로 판단된다.

저주파구간에서  $\tan \delta$  값 관찰을 통해 Branching 정도에 대한 정보를 구할 수 있다. 높은 Branching 정도, 고분자 얽힘, 넓은 분자량 분포(MWD)는 선형 점탄성 거동에서 편차를 보이고, 낮은  $\tan \delta$  값을 타나낸다.

$\tan \delta$  값이 낮다는 것은 분지화된(Branched) 폴리머의 이완 속도가 느려지고, 상승 온도 조건에서 용융 탄성이 높다는 것을 나타낸다. NORDEL™ IP 5565에 비해 NORDEL™ 6565 XFC에서  $\tan \delta$  곡선이 비선형적으로 나타나며, EPDM-A에서 가장 뚜렷한 비선형 경향을 보인다(Figure 3(b)). GPC 데이터 결과에 나타난 바와같이 분자량 분포(MWD)가 NORDEL™ IP 5565 < EPDM-A < NORDEL™ 6565 XFC 순으로 증가

하는 것을 감안할 때,  $\tan \delta$ 의 비선형성은 총 Branching 수뿐 아니라 Branching 유형에 기인한 것으로 보인다. 일반적으로  $\tan \delta$  곡선을 비교하면 전체 주파수 범위에서 상이한 점탄성 거동을 볼 수 있는데, 이는 균일한 T 유형의 분지형 AMC-EPDM과 랜덤한 H 유형의 분지형 ZN-EPDM의 성능이 다르게 나타날 수 있다는 사실을 의미한다.

상기 내용은 Figure 4에 도식으로 요약하였다. Figure 4(a)는  $MLRA_p/ML_p$  비를 0.5 rad/s에서 조건의  $\tan \delta$  값과 대조하여 표시하였으며, Figure 4(b)는 컴파운드 점도와 EPDM 폴리머 점도의 비율( $ML_c/ML_p$ )로 도식화하였다. 높은  $MLRA_p/ML_p$ 는 다분산(polydispersity) 분자량 분포를 나타내고,  $\tan \delta$ 는 분지화와 관련된 탄성을 나타낸다.  $MLRA_p/ML_p$ 와  $\tan \delta$ 의 상관 관계는 NORDEL™ EPDM 제품군에서 분자 설계의 변화가 ZN-EPDM 및 SSC-EPDM (NORDEL™ IP 5565)과 비교시, AMC 제품(NORDEL™ 6565 XFC) 이 특성 차이를 줄 일 수 있다는 것을 알수 있다. 본 연구에서 사용된 모든 EPDM은 유사한 Mooney 점도를 가지기 때문에,  $MLRA_p/ML_p$  또한 용융 강도와 직접적인 상관을 보인다.

유사한  $ML_c/ML_p$  비율 및  $MLRA_p/ML_p$  비율을 갖

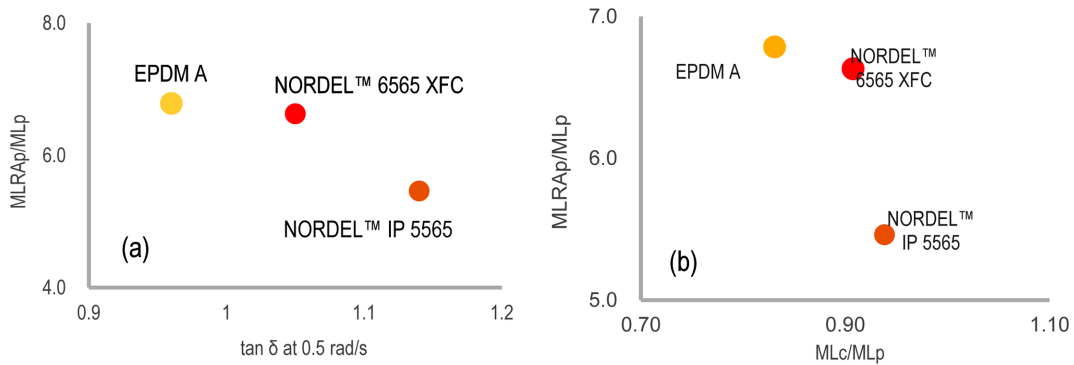


Figure 4. The correlation between MLRAp/MLp and tan delta (a) and MLc/ MLp (b).

는 컴파운드는 유사한 공정성능을 타나낼 것으로 예상된다. 따라서 Figure 4(b)의 결과는 NORDEL™ 6565 XFC가 SSC-EPDM대비 가공 특성 향상됨을 의미한다.

결론적으로 넓은 분자량분포(MWD)와 균질한 Long chain branching(LCB) 등, 새로운 분자 설계를 적용한 NORDEL™ 6565 XFC는 NORDEL™ IP 5565보다 탄성 특성이 뛰어나며 고전적인 ZN-EPDM 과 유사한 가공 특성을 보인다.

### 3.2. 컴파운딩 이후 유변특성과 가공 특성

3 종의 EPDM은 인터널 믹서 및 two-roll mill을 사용해 동일한 조건에서 배합했다. 컴파운드의 Mooney 점도(1+4 분) 및 감쇠(2 분)는 100°C에서 측정하였고, MLRA를 관찰하였다(Table 4). 컴파운드의 경우, 높은 MLRA 값은 고분자 사슬의 느린 이완과 상관이 있을 수 있는데, 이는 고분자 사슬이 필러 입자에 보다 효율적으로 흡착되거나 EPDM이 덜 가소화되기 때문에 생긴다.

NORDEL™ 6565 XFC는 MLRA 값이 가장 높은 컴파운드로 나타났다. 분자적 관점에서 볼 때, 균일한

Long chain branching(LCB)과 적절한 분자량 분포(MWD)가 이러한 효과를 향상시킬 수 있다. 동점도 및 tan δ 경향은 배합 이후 현저히 변하지 않았다(표시되지 않음).

그린 강도는 미경화 화합물의 인장 강도로 표시된다. 시험편의 인장 강도는 100°C에서 측정했다(Table 4). 변형률-응력 곡선은 일반적으로 항복 응력 계수와 항복 연신율로 표시된 최대값을 지난다. 컴파운드 간의 차이는 작기 때문에 이러한 결과를 보완하기 위해 RPA(Rubber Process Analyzer) 측정을 수행했다. 이전 연구에서는 대변형-저 주파수 구간 시험조건에서 변형에 대한 토크 응답이 그린강도와 상관성이 있고, 샘플 간의 비교가 가능하다고 보고되었다[10]. 평가결과 NORDEL™ 6565 XFC가 NORDEL™ IP 5565에 대비 높은 그린 강도를 보이며, 인장 시험 결과와 유사한 경향을 보였다.

추가적인 가공 특성 파악을 위해 Garvey 다이 프로파일을 적용하여 압출평가를 실시했다. 압출 변수는 ZN EPDM-A에 최적화되었고, 표면 모서리, 코너, 다이 팽창의 품질은 ASTM D2230 등급 체계 A(Table 5)에 따라 비교하였다. 두 NORDEL™ EPDM 제품 모두,

Table 4. Green strength and Mooney characteristics of uncured compounds

Test	Unit	NORDEL™ 6565 XFC	NORDEL™ IP 5565	EPDM A
Yield stress modulus, 100°C	MPa	0.12 ± 0.00	0.11 ± 0.01	0.13 ± 0.01
Yield elongation, 100°C	%	44 ± 6	37 ± 3	72 ± 6
Torque @ 80° of arc, 100°C	Nm	7.1	6.9	7.8
Torque @ 80° of arc, 90°C	Nm	8.3	8.1	9.7
ML1+4 100°C	ML	58	60	53
Compound MLRA	M-s	416	356	376

고품질 프로파일을 보이는 기존 ZN EPDM-A의 품질 기준을 충족했다.

### 3.3. 경화성능

경화 특성은 유허를 적용한 조성의 가황 컴파운드로 비교하였다. Figure 5는 180°C에서 토크 특성을 보여주며, 그 값은 Table 6에 요약하였다. 스코치 시간  $t_{s2}$ 는 ML 값에서 2 단위로 토크를 증가시키는 시간으로 정의되며, 이는 프로세스 측면 안전 시간이라고 할 수 있다.

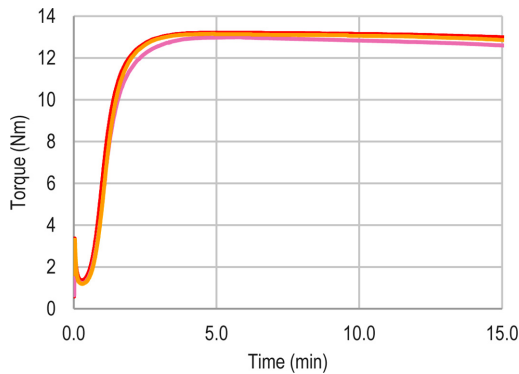


Figure 5. Property build-up of different EPDMs at 180°C, tracked with torque evolution. Color code: NORDEL™ 6565 XFC (red), NORDEL™ IP 5565 (light red), EPDM-A (yellow).

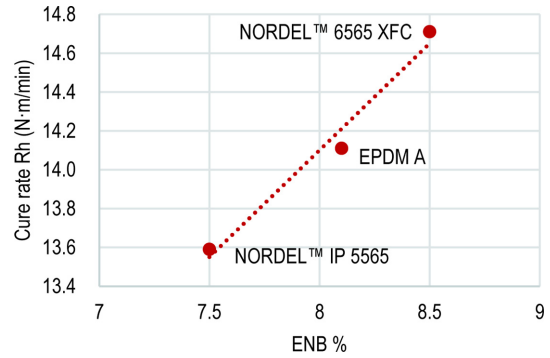


Figure 6. ENB levels versus maximal cure rate (Rh).

최적 경화 시간  $t_{90}$ 은 최대 토크의 90%에 도달하는데 필요한 시간으로 정의된다.  $t_{s2}$ 와  $t_{90}$  모두 3종 컴파운드에서 비슷한 범위에 있는 것으로 나타났다. 가황 곡선은 NORDEL™ 6565 XFC 적용한 컴파운드 토크가 가장 먼저 상승하고 가장 높은 가교 결합 정도에 도달함을 보여준다. 최대 경화 속도(Rh)는 가교 결합 정도와 무관한 성능의 순위를 매길 수 있다. 여기서 NORDEL™ 6565 XFC는 다른 EPDM의 경화 속도보다는 빠른 것을 확인할 수 있다. Figure 6은 이러한 가교속도 특성이 각 EPDM의 ENB 정도와의 상관성이 있음을 나타낸다.

마지막으로, 스코치는 120°C에서 실시 되었으며, 평가 결과 13는 모든 샘플에서 동일한 수준을 나타냈

Table 5. Ranking of Garvey die extruded profiles according ASTM D2230 scheme A

	NORDEL™ 6565 XFC	NORDEL™ IP 5565	EPDM A
Swelling	4	4	4
Edge (30°)	4	4	4
Surface	4	4	4
Corners	4	4	4

Table 6. Overview on cure characteristics of different EPDM compounds

Test	Unit	NORDEL™ 6565 XFC	NORDEL™ IP 5565	EPDM-A
MDR $t_{s2}$ (min)	min	0.9	0.9	0.9
MDR $t_{90}$ (min)	min	2.1	2.3	2.2
MDR MH-ML	Nm	11.4	10.9	10.5
Reaction rate $R_h$	Nm/min	14.7	13.6	14.1
Scorch $t_3$	min	10.0	9.9	11.1
Scorch $t_{18}$	min	14.1	14.6	16.0
Cure Index ( $\Delta t_S$ )	min	4.1	4.6	4.9

**Table 7. Overview on mechanical performances of cured compounds**

Test	Unit	NORDEL™ 6565 XFC	NORDEL™ IP 5565	EPDM-A
Hardness	Shore A	61	61	62
Tensile modulus	MPa	10	11	11
Max elongation	%	501	649	561
Tear resistance Type C	kN/m	9.7	9.2	10.5
Compression set 25% deflection 23C 22h (%)	%	4	9	11
Compression set 25% deflection 70C 22h (%)	%	10	16	11
Compression set 25% deflection 100C 22h (%)	%	26	39	31

다(Table 6).  $t_{18}-t_3$ 로 계산된 경화지수( $\Delta t_s$ )는 스코치 테스트에서 경화 반응 속도를 측정하는 것이다. NORDEL™ 6565 XFC의 경화지수가 다른 두가지 EPDM 그레이드 대비 낮은데, 이는 경화 효율이 높다는 사실을 의미한다.

### 3.4. 경화 컴파운드의 기계적 특성

웨더실링, 특히 도어 실링 용도로 EPDM 컴파운드를 광범위하게 적용하는 이유는 경도가 높고, 기계적 응력과 영구 변형에 저항하는 특성때문이다. 모든 경화 컴파운드는 전형적인 OEM 사양(Table 7)과 관련된 Shore A 경도, 인장 강도, 유형 C 인열 저항 측면에서 만족스러운 성능을 보여준다. 압축 세트에서 차이가 분명하게 나타나는 데 NORDEL™ 6565 XFC가 다른 2 개의 EPDM에 비해 영구 변형 경향이 현저히 낮다.

특히 가장 가혹한 조건(100°C에서 22 시간)에서 NORDEL™ 6565 XFC EPDM은 NORDEL™ IP 5565에 비해 33%, EPDM-A에 비해 16% 향상된 성능을 보여준다.

## 4. 결론

새로운 NORDEL™ 6565 XFC EPDM 고무는 DOW의 새로운 첨단분자촉매(AMC) 기술과 최신 공정 기술로 구현된다. 이러한 새로운 기술로 초고분자량, 넓은 분자량 분포(MWD), Long chain branching (LCB) 특성을 가지면서 디엔 함량은 더욱 높은 EPDM을 생산할 수 있다. 이러한 모든 폴리머 속성은

지금까지 ZN 촉매 EPDM과 관련된 것으로 생각되었으나, NORDEL™ 6565 XFC도 이러한 특성을 보이는 것으로 나타났다.

사례 연구를 통해 최적화된 65±5 Shore A 웨더실링 조성물에서 AMC로 제조된 EPDM인 NORDEL™ 6565 XFC의 성능과, 1세대 SSC EPDM(NORDEL™ IP 5565), 기존 ZN 기반 EPDM(EPDM-A)을 비교 조사하였다.

NORDEL™ 6565 XFC는 NORDEL™ IP 5565에 비해 분자량분포(MWD)가 넓고 분지화 정도가 발달하여, 용융 및 그린 강도 향상, 상온 및 상온 온도에서 압축 변형율의 현저한 개선을 나타낸다. 높은 ENB 수준과 균일한 Branching 구조는 인장 및 인열의 기계적 성질을 저하시키지 않으면서, 가교 특성 향상을 보인다. 따라서 새로운 EPDM 등급의 NORDEL™ 6565 XFC는 NORDEL™ EPDM의 깨끗하고 겔이 없는 이점과 높은 수준의 공정성과 성능 특성 향상을 나타낸다.

이러한 결과는 단일점촉매(SSC)기술과 지글러나타 촉매(ZN) 기술이 적용된 EPDM대비 차별화된 성능을 보인다.

## 참고문헌

1. P. S. Ravishankar, *ACS Rubber Division*, Pittsburgh, October (2009).
2. K. Walton, *ACS Rubber Division*, Pittsburgh, October (2000).
3. J. C. Stevens, *Stud. Surf. Sci. & Catal.*, 101, 11 (1996).
4. T. Boussie, G. M. Diamond, C. Goh, K. A. Hall, M. LaPointe, M. Leclerc, C. Lund, V. Murphy, J. A. W.



- Shoemaker, U. U. Tracht, H. Turner, J. Zhang, T. Uno, R. K. Rosen, and J. C. Stevens, *J. Am. Chem. Soc.*, 125, 4306 (2003).
5. T. Clayfield et al., *DKT Conference*, Nuremberg, July (2015).
  6. C. Li Pi Shan, T. Clayfield, and J. Den Doelder, *Rubber world*, 250, 34 (2014).
  7. V. Thakur et al., *Europe Rubber Industry Forum*, Vienna, May (2017).
  8. V. Thakur et al., *RubberCon*, Prague, May (2017).
  9. G. Li, T. Clayfield, T. Han, C. Li Pi Shan, L. Nguyen, T. Huang, and R. Cong, *Rubber World*, 254, 22 (2016).
  10. J. S. Dick, C. Harmon, and A. Vare, *ACS Rubber Division*, Anaheim, California, May (1997).