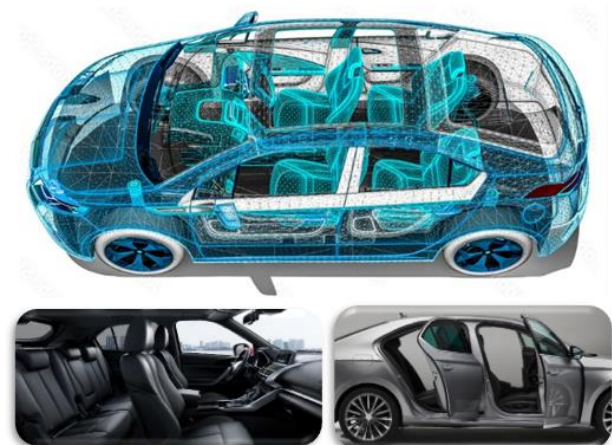


## Autodesk Simulation Day

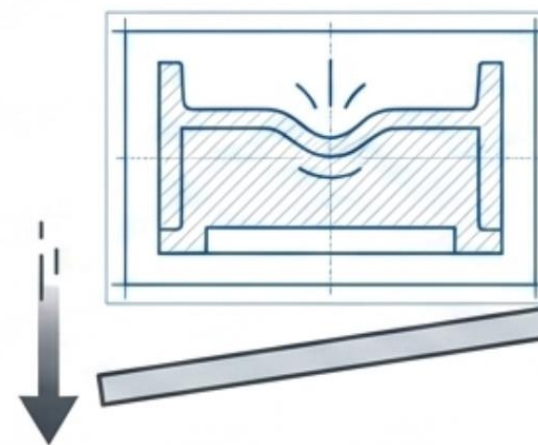
# [Case study] 자동차 블랙 부품의 응력 백화(매직아이) 개선을 위한 Moldflow 기반 최적화 사례

보압(Holding Pressure) 증가에 따른 유동 유발 응력(Flow-Induced Stress) 상승이 응력 백화의 주된 원인임을 규명하고, 싱크마크 ↔ 백화의 상충관계를 Moldflow로 검증한 사례.

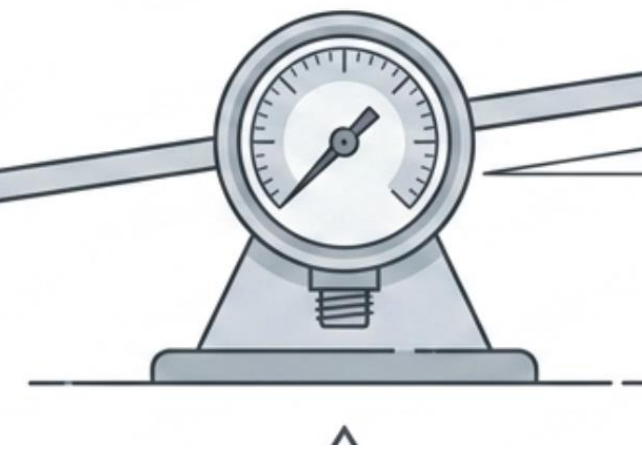
(주)일흥  
금형개발부  
노태현 차장



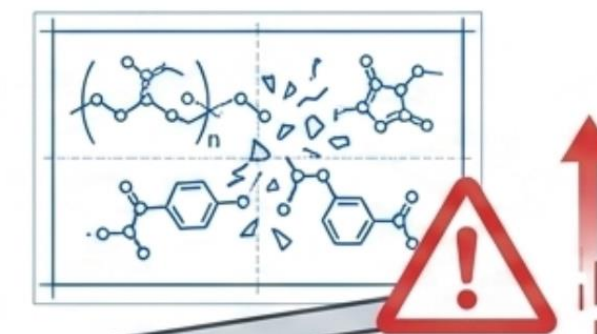
**보압 감소 시**  
싱크마크(Sink Mark) 및 치수 불량 발생



**보압**  
(Packing Pressure)



**보압 증가 시**  
유동 유발 응력(Flow-Induced Stress) 급증  
응력 백화 발생



# 오토데스크 시뮬레이션 Day

## Contents

- 
01.  
배경과 문제 정의 : (주)일흥 소개 · 응력 백화 불량 · 보압 상충관계
- 
02.  
응력 백화의 이해 : 정의 · 발현 메커니즘 · 위험성 · 3대 원인
- 
03.  
Moldflow 원인 규명 : 해석 접근법 · 보압 → 응력 · 임계 응력 · 공정
- 
04.  
최적화와 검증 : 정의 · 발현 메커니즘 · 위험성 · 3대 원인
- 
05.  
결론 : 런너 구조 · 리브 변경 · 공정조건 · 검증 결과
- 

# Autodesk Simulation Day 2026

L7 광명바이롯데 호텔 3층

06.16 화요일  
10:00 - 17:10

01

글로벌 자동차 램프 **토탈 솔루션 파트너**

(주)일흥 — 실내·실외 램프 종합 생산 및 글로벌 납품

Total Lamp Solution Partner

**(주)일흥**

자동차 실내·실외 램프를 종합 생산·납품하는 자동차 램프 토탈 솔루션 파트너사입니다. 설계·금형·사출·검증을 아우르는 통합 역량을 보유하고 있습니다.

실내·실외

램프 종합 생산

Global 파트너

다수 브랜드 공급

주요 공급 글로벌 브랜드

현대자동차그룹

폭스바겐 (VW)

르노 (Renault)

GM

**i** 글로벌 고객이 요구하는 무결점 외관 품질 기준을 충족하기 위해, 개발 단계부터 사전 시뮬레이션 기반의 과학적 사출 공법을 적용합니다.

# 자동차램프 도탈 솔루션 제공

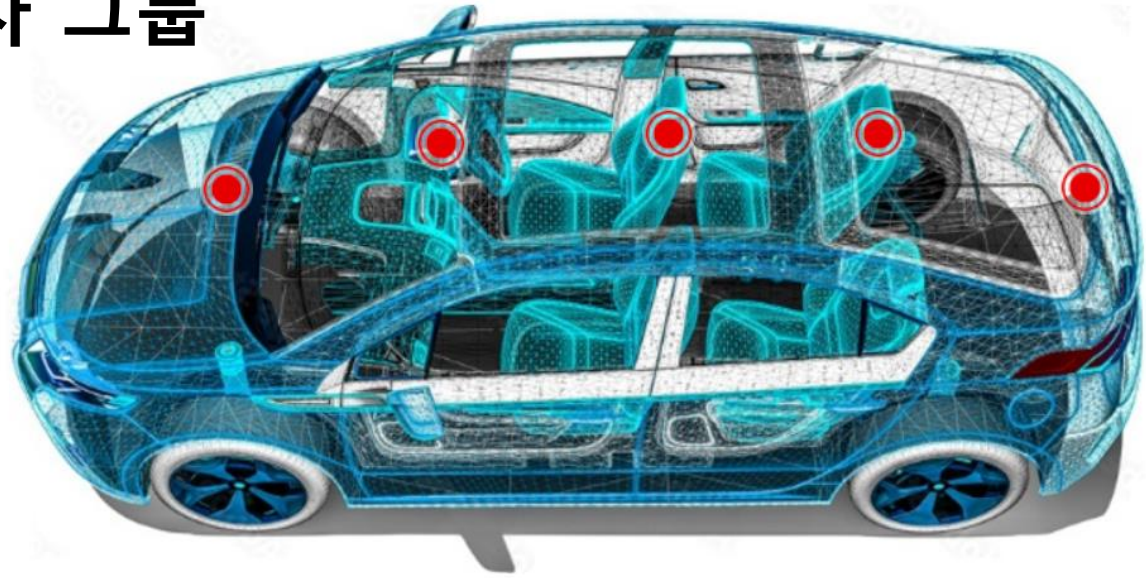
(주)일흥은 실내/실외 램프 종합 생산으로 고객 편의와  
글로벌 시장 주도를 실현하는 자동차 파트너사입니다



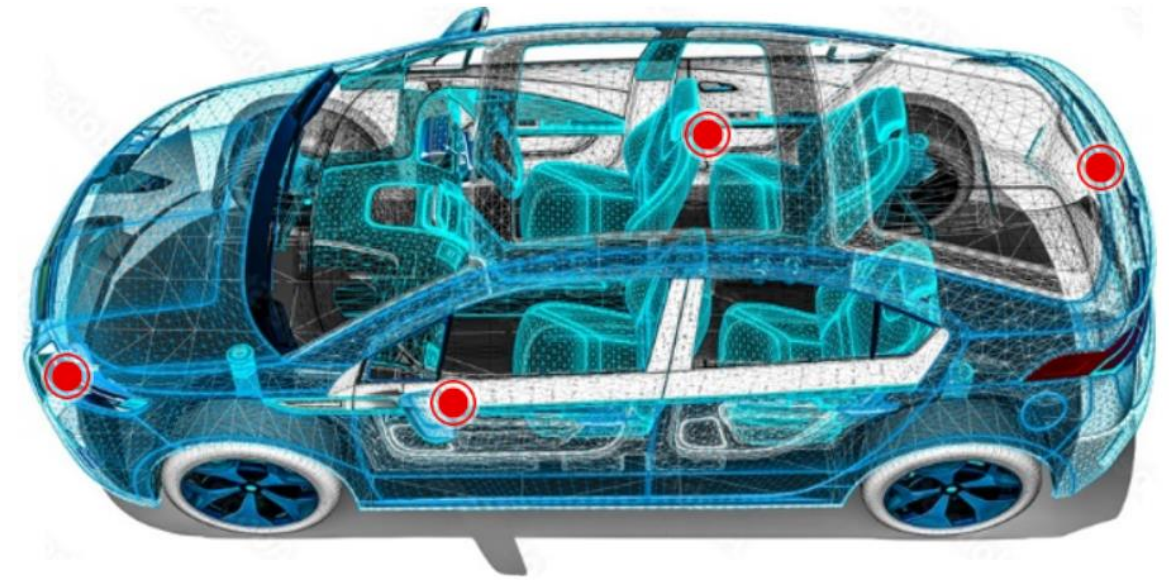
Main

# (주)일흥 국내 포트폴리오

## 현대자동차 그룹



## KGM



### 주요 생산품



**HMC**  
GENESIS EQ900  
OHC

**HMC**  
GENESIS GV80  
OHC

**HMC**  
GRANDEUR  
OHC

**HMC**  
FE  
OHC

**HMC**  
PALISADE  
OHC

**KMC**  
MORNING  
MAP



**HMC**  
GENESIS EQ900  
ROOM

**HMC**  
GENESIS GV80  
ROOM

**HMC**  
GRANDEUR  
ROOM

**HMC**  
GENESIS  
PSNL

**HMC**  
GENESIS EQ900  
VANITY

**KMC**  
RAY  
PORTABLE

### 주요 생산품



**SYMC**  
KORANDO SPORTS  
REAR COMBI

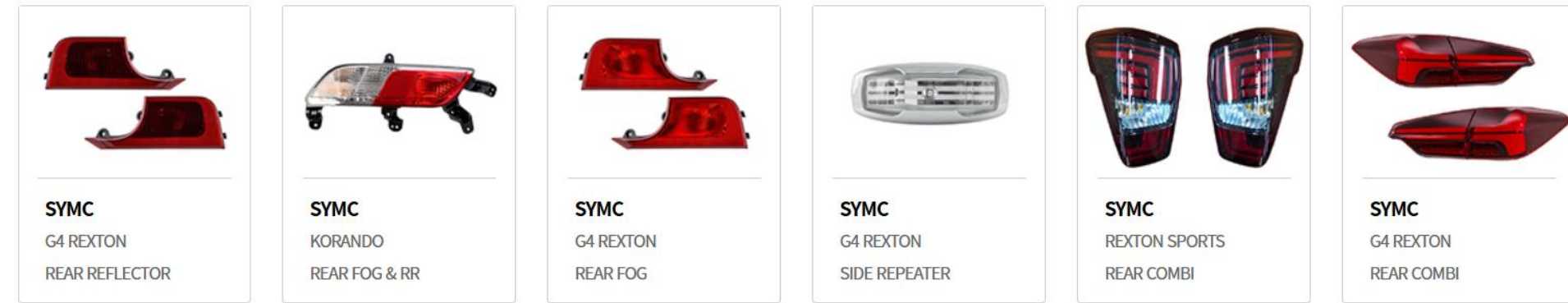
**SYMC**  
TIVOLI, TURISMO  
FRONT FOG

**SYMC**  
G4 REXTON  
FRONT FOG

**SYMC**  
KORANDO C  
FRONT FOG

**SYMC**  
KORANDO  
FRONT FOG

**SYMC**  
G4 REXTON  
CHMSL



**SYMC**  
G4 REXTON  
REAR REFLECTOR

**SYMC**  
KORANDO  
REAR FOG & RR

**SYMC**  
G4 REXTON  
REAR FOG











**SYMC**  
G4 REXTON  
SIDE REPEATER

**SYMC**  
REXTON SPORTS  
REAR COMBI

**SYMC**  
G4 REXTON  
REAR COMBI

# (주)일흥 해외 포트폴리오













## 주요 생산품 GM

 <b>GM</b> TRAX DRL	 <b>GM</b> TRAIL BLAZER LED FRONT FOG	 <b>GMK</b> CAPTIVA FRONT FOG	 <b>GM BUICK</b> TRAX REAR FOG	 <b>GM</b> TRAX REAR FOG	 <b>GM</b> BOLT EV CHMSL
 <b>GM</b> TRAIL BLAZER SIDE MARKER	 <b>GM</b> TRAX SIDE REPEATER	 <b>GM</b> AVEO REAR REFLECTOR	 <b>GM BUICK</b> TRAX REAR REFLECTOR		










## 주요 생산품 마쯔다/혼다

 <b>MAZDA</b> CX-9 OHC	 <b>MAZDA</b> AXELA OHC	 <b>MAZDA</b> CX-5 OHC	 <b>MAZDA</b> ATENZA OHC	 <b>MAZDA</b> ATENZA ROOM	 <b>MAZDA</b> CX-5 ROOM
 <b>TOYOTA</b> PRIUS OHC	 <b>MAZDA</b> DEMIO CARGO	 <b>MAZDA</b> ATENZA CARGO	 <b>SUZUKI</b> CIAZ ROOM	 <b>SUZUKI</b> SWIFT ROOM	 <b>SUZUKI</b> SX4 S-Cross READING LAMP

## 주요 생산품 폭스바겐 그룹

 <b>AUDI</b> A3 OHC	 <b>AUDI</b> A4 OHC	 <b>VW</b> POLO FRONT LAMP	 <b>SEAT</b> LEON FRONT LAMP	 <b>AUDI</b> A8 VANITY MIRROR	 <b>VW</b> T-ROC DRL LAMP
 <b>VW</b> GOLF8 LOGO LAMP	 <b>VW</b> POLO READING LAMP	 <b>VW</b> ALL MAKE UP LAMP	 <b>VW</b> AMAROK HMS LAMP	 <b>VW</b> GOL SIDE BLINKER	 <b>SEAT</b> ATECA SWA LAMP

## 주요 생산품 르노 그룹

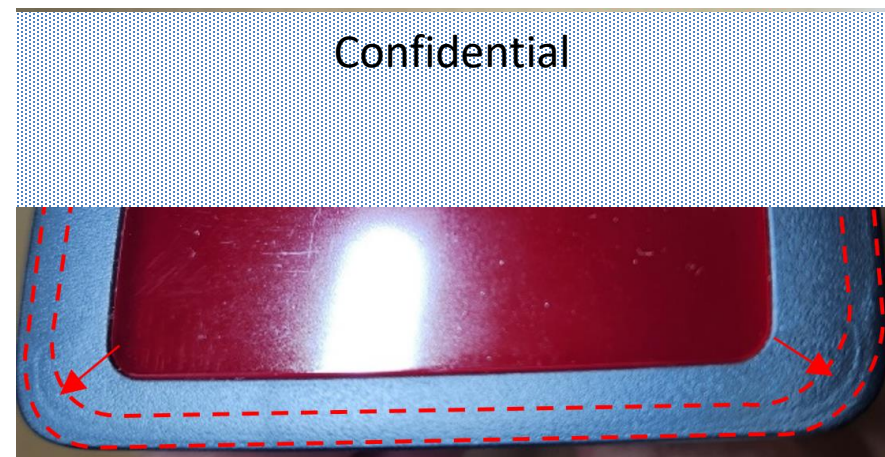
 <b>NISSAN</b> ROGUE OHC	 <b>RENAULT</b> QM6 OHC	 <b>RENAULT</b> SM5/SM7 ROOF LAMP	 <b>RENAULT</b> SM6 ROOF LAMP	 <b>NISSAN</b> SERENA(ALL) MAP LAMP	 <b>RENAULT</b> CLIO/MEGANE(ALL) READING LAMP
 <b>RENAULT/NISSAN</b> ALL LICENSE LAMP	 <b>RENAULT</b> MASTER CARGO LAMP	 <b>RENAULT</b> MEGAN(ALL) ROOF LAMP	 <b>RENAULT</b> MEGAN(ALL) ROOF LAMP	 <b>RENAULT</b> QM6 REAR REFLECTOR	

## 02

## 문제 인식 — 응력백화 불량

INTERIOR HOUSING 블랙 부품 표면의 얼비침, 그 근본 원인은 응력 백화

불량 현상 Stress Whitening (매직아이, 얼비침)

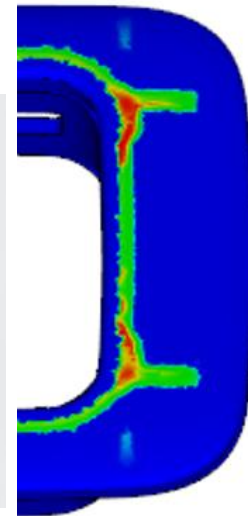


동영상  
더블클릭



KakaoTalk\_20260318\_084310205.mp4

Sink Mark(싱크마크)



### 1 불량 대상 — Interior Housing (블랙 부품)

자동차 인테리어 램프 하우징. 짙은 블랙 사출품으로 미세 결함도 즉시 드러나는 고난이도 품목.

### 2 관찰된 현상 — 표면 얼비침 (매직아이)

특정 국부 영역이 빛에 따라 우윳빛으로 얼비치는 매직아이 불량 발생. 외관 품질 기준 미달.

### 3 근본 원인 — 응력 백화 (Stress Whitening)

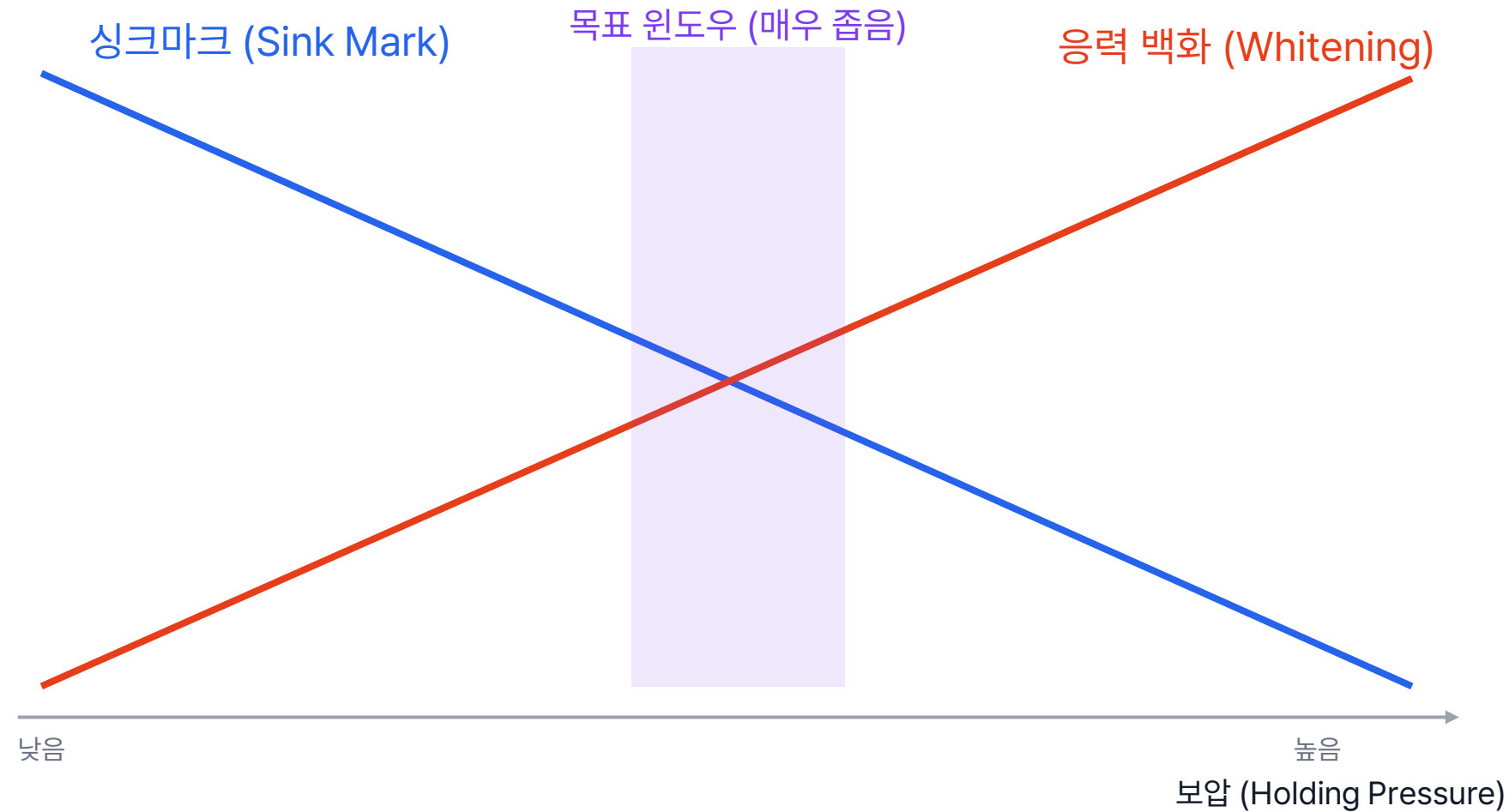
정밀 분석 결과 매직아이의 근본 원인은 응력 백화로 판명. 단순 외관 문제가 아닌 구조적 결함의 신호.

! 매직아이 = 응력 백화의 외적 발현. 표면 처리가 아닌, 응력을 유발하는 사출 메커니즘 자체를 제어해야 근본 해결이 가능합니다.

# 핵심 딜레마 — 보압의 상충관계

싱크마크와 응력 백화를 동시에 잡아야 하는 좁은 공정 윈도우

보압에 따른 두 결함의 상충 관계



보압 ↓ 감소

## 싱크마크 발생

충전·수축 보상이 부족해 표면 함몰(Sink Mark) 결함이 나타납니다.

보압 ↑ 증가

## 응력 백화 발생

잔류 응력이 누적되어 매직아이(백화)가 나타납니다.

! 현장의 딜레마: 보압을 낮추면 싱크마크, 높이면 백화 — 두 결함을 동시에 잡는 공정 윈도우를 경험적 시행착오로는 찾지 못한 상태였습니다.

## 02

## 응력 백화(Stress Whitening)란 무엇인가

공학적 정의 — 잔류·인장 응력에 의한 국부 백색 변색 결함

## DEFINITION

응력 백화란, 사출성형 공정 중 내부 잔류 응력이나 취출 과정의 외부 인장 하중으로 인해 특정 국부 영역이 우윳빛 불투명한 백색으로 변색되는 치명적인 외관 결함입니다.

## 원인 응력

내부 잔류 응력 + 외부 인장/취출 하중이 임계치를 넘을 때 발현

## 발생 위치

살두께 급변부, 게이트 주변, 리브·보스 등 응력 집중부의 국부 영역

## 외관 특성

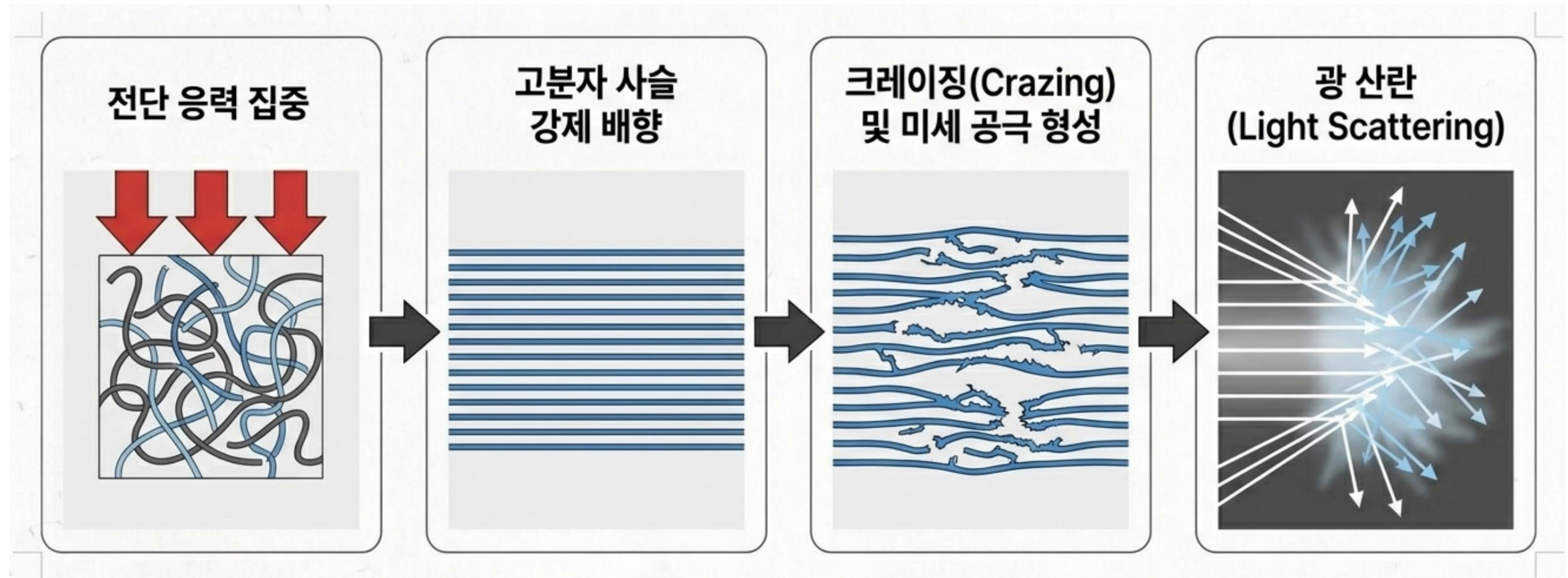
우윳빛 불투명 백색, 블랙 부품에서 특히 뚜렷한 얼비침으로 관찰

**i** 백화는 색소 변화가 아니라 미세 구조 변화에 의한 광학 현상입니다.

## 02

## 발현 메커니즘 — 응력에서 백색까지

인장 응력 → 미세 공극 → 광 산란 → 백색 얼비침



**i** 핵심은 나노 공극에 의한 광학적 산란. 공극 밀도가 임계치를 넘는 순간 분자사슬 붕괴와 광산란으로 백색 인지 — 임계 응력의 물리적 근거.

## 02

## 발현 메커니즘 — 응력에서 백색까지

인장 응력 → 미세 공극 → 광 산란 → 백색 얼비침



**i** 핵심은 나노 공극에 의한 광학적 산란. 공극 밀도가 임계치를 넘는 순간 분자사슬 붕괴와 광산란으로 백색 인지 — 임계 응력의 물리적 근거.

## 02

## 응력 백화의 위험성

외관·구조·신뢰성 — 단순한 미관 결함이 아닌 이유

## 표면

## 시각적 품질 저하

블랙 외관 부품에서 백화는 즉시 식별되는 치명적 외관 불량입니다. 외관 기준에서 즉시 부적합 처리되어 전수 선별·폐기 비용이 발생합니다.

## 구조

## 내부 구조의 취약화

미세 공극·크레이즈는 곧 하중 전달 단면적 감소를 의미합니다. 백화 영역은 손상이 진행된 구역으로, 외관 문제로 나타났습니다.

## 신뢰성

## 부품의 조기 파손

크레이즈는 균열로 이어질 가능성이 있는 초기 손상 형태입니다. 반복 하중·환경 응력 조건에서는 백화 부위가 크랙으로 진행될 수 있어서, 부품의 내구성 저하로 연결될 가능성이 있습니다.

! 백화는 "보이는 외관 결함"이자 "보이지 않는 구조 결함"입니다. 외관 기준 통과만으로는 불충분하며, 응력 자체를 임계치 이하로 낮춰야 합니다.

## 02

## 응력 백화의 3대 원인

유동 유발 · 열 · 취출 응력 — 그리고 본 사례의 지배 인자

주된 원인

## 유동 유발 응력

Flow-Induced Stress

충전·보압 시 과도한 전단속도·압력으로 분자 사슬이 연신·동결됩니다. 살두께 급변부·게이트 주변에서 극대화 — 본 사례의 핵심 인자.

원인 ②

## 열 응력

Thermal Stress

불균일 냉각·체적 수축 편차에서 발생. 먼저 고화된 스킨층과 나중에 냉각되는 코어층의 수축률 차이가 내부 인장 응력을 만듭니다.

원인 ③

## 기계적 취출 응력

Ejection Stress

강성 확보 전 이젝터 핀 작동, 부족한 빼기 구배(Draft)로 취출 저항이 클 때 국부 인장·전단 변형이 가해집니다.

★ 세 원인 중 본 사례는 보압 증가에 따른 유동 유발 응력(Flow-Induced Stress)이 주요 원인, Moldflow로 확인 — 정량 규명.

## 03

## Moldflow 해석 접근법

Cross-WLF · 4단계 압력 · 잔류 응력 예측 + 보압 DOE

해석 모델링 구성

점도 모델

Cross-WLF 점도로 전단·온도 의존 유동 재현

압력 프로파일

충전·압력전환(V/P)·보압·냉각 4단계 모사

잔류 응력 예측

동결 유동 응력 + 열 수축 응력 산출

평가 지표

최대 인장 응력 vs 백화 임계 응력, 싱크 깊이

DOE — 보압 Sweep

보압을 단계적으로 변화시켜 각 조건의 최대 잔류 응력·싱크 깊이를 추출하고, 백화 발현 임계점을 탐색합니다.

4단계  
보압 수준

2개  
상층 지표

1개  
임계 응력

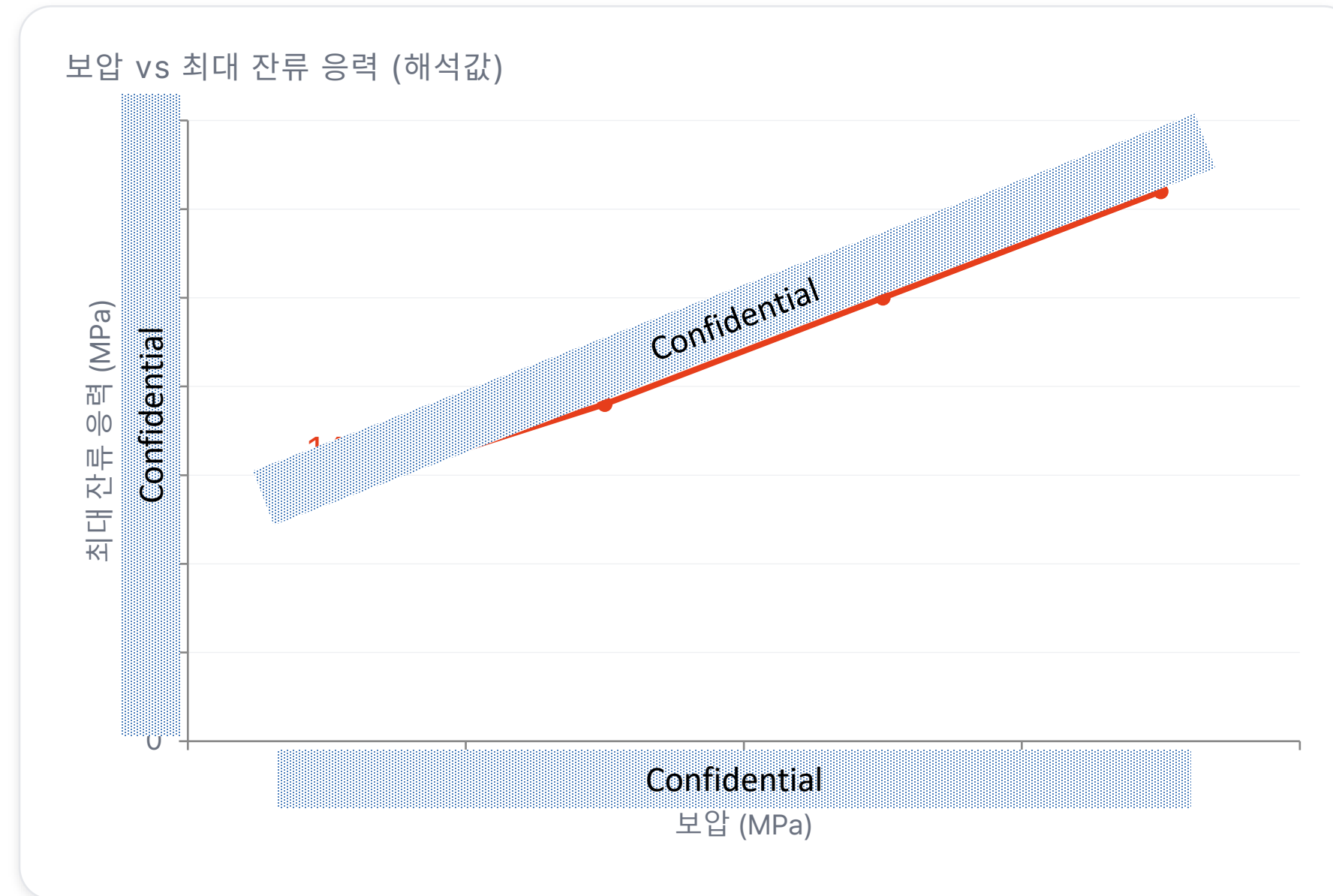
\* 차트 수치는 본 발표용 예시값이며, 실제 해석 데이터로 교체 가능합니다.

i 현장 시행착오 대신 가상 공간에서 보압을 스위핑하여, 싱크마크와 백화를 동일한 축(보압) 위에서 정량 비교할 수 있게 했습니다.

## 03

원인 규명 — 보압이 **응력**을 키운다

보압 증가 → 유동 유발 응력(Flow-Induced Stress) 증가



핵심 발견

보압이 높아질수록 유동 유발 응력(Flow-Induced Stress)이 증가.

물리적 해석

보압은 고화 직전 분자 사슬에 추가 압축·연신을 가합니다. 이 동결된 배향 응력이 게이트·살두께 급변부에 누적되어 백화의 직접 원인이 됩니다.

**+121%**

Confidential

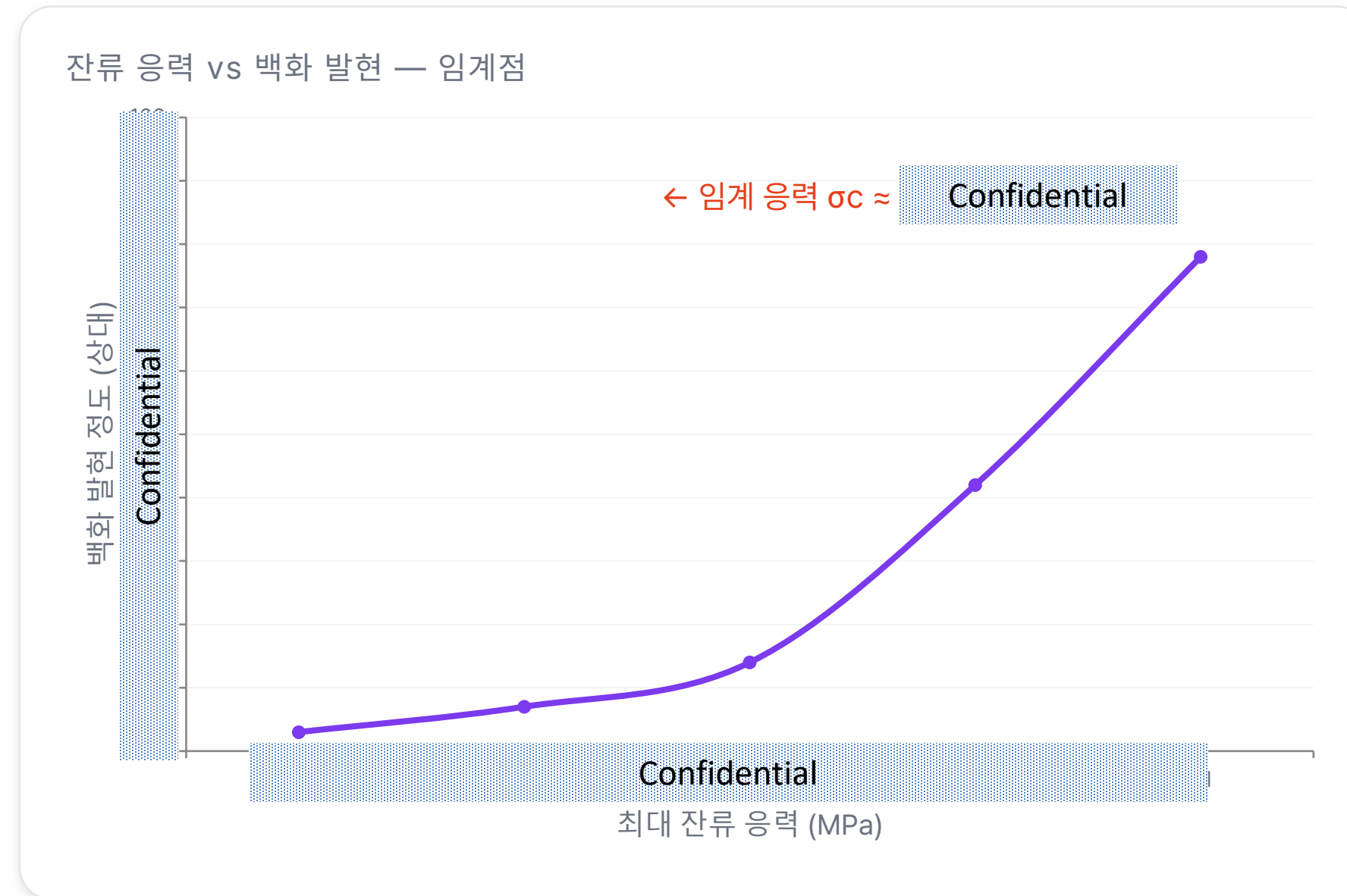
시 최대 잔류 응력 증가

★ 원인 규명 완료: 응력백화의 직접 원인은 보압 증가에 따른 잔류(유동 유발) 응력의 상승임을 Moldflow가 정량적으로 확인했습니다.

## 03

## 임계 응력(Critical Stress)의 발견

일정 응력 이상에서 백화가 구현 — 합격선  $\sigma_c$ 를 정의하다



Critical Stress

$$\sigma_c \approx \text{Confidential MPa}$$

이 임계 응력을 넘어서면 미세 공극 밀도가 급증하며 백화가 가시화됩니다.

해석으로 재현된 사실

일정 응력 이상에서만 백화가 구현됨을 확인 — 즉 목표는 명확합니다: 최대 응력을  $\sigma_c$  이하로 낮추는 것.

★ 정량 기준 확보: 백화는 응력의 연속 함수가 아니라 임계 응력( $\sigma_c$ )을 가진 문턱 현상입니다. 이  $\sigma_c$ 가 모든 최적화의 합격선이 됩니다.

## 03

## 상충관계의 정량화 — 공정 윈도우

싱크마크 하한과 백화 상한 사이, 좁은 안전 영역을 가시화

보압 축 위의 공정 윈도우 — 두 결함의 정량적 경계



**하한**

싱크마크 회피를 위한 최소 보압

**윈도우**

두 결함을 동시에 만족하는 좁은 영역

**상한**

$\sigma_c$  초과 = 백화 발현 보압 한계

**i** 상충관계가 정량적 경계로 바뀌었습니다. 다만 기존 설계의 윈도우는 너무 좁아 — 최적화로 윈도우 자체를 넓혀야 안정 양산이 가능합니다.

## 04

## 최적화 전략 개요 — 3개의 레버

런너 구조 · 살두께 · 공정조건을 함께 조정해 윈도우 확장

1

### 런너 구조 변경

압력 손실 분포를 재설계해 캐비티 도달 압력과 전단을 낮춥니다. 게이트 위치·런너 단면 최적화로 유동 유발 응력의 근원을 줄입니다.

Slide 19

2

### 수축 개선 위한 리브 삭제

싱크 마크가 발생하기 쉬운 형상을 개선해, 보다 안정적인 성형 조건을 확보하는 데 목적이 있습니다.

Slide 20

3

### 공정조건 변경

보압을 싱크 회피 최소 임계로 낮추고, 온도·냉각을 조정해 응력 이완 시간을 확보합니다.

Slide 21



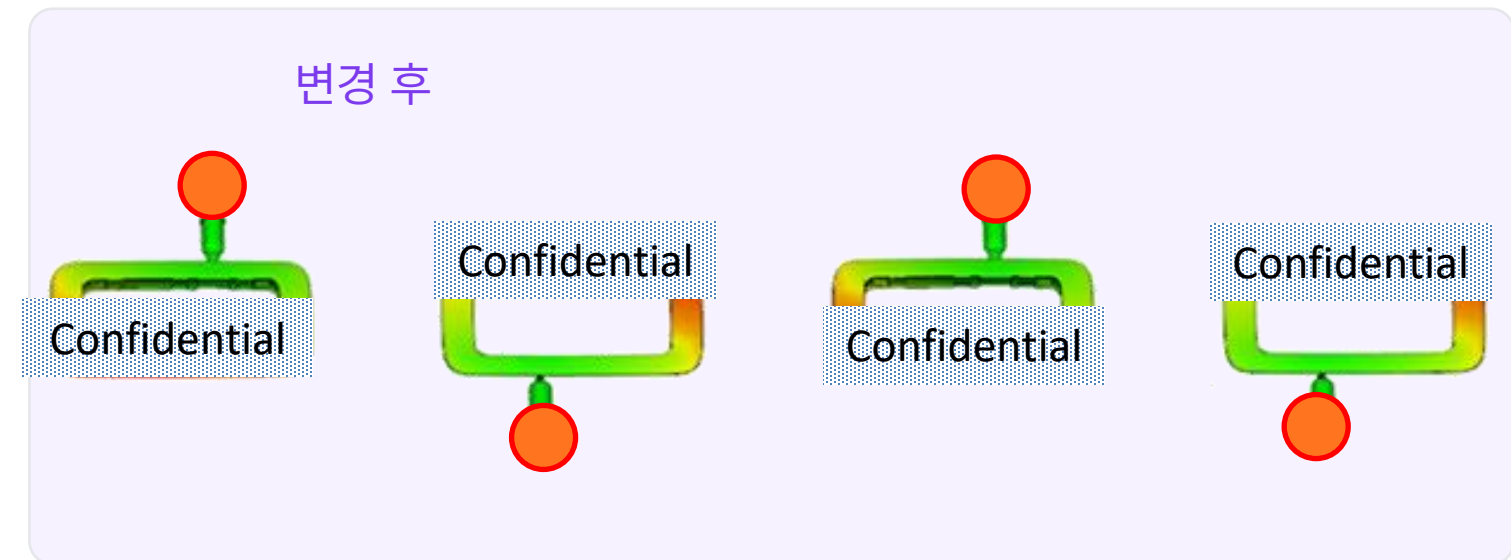
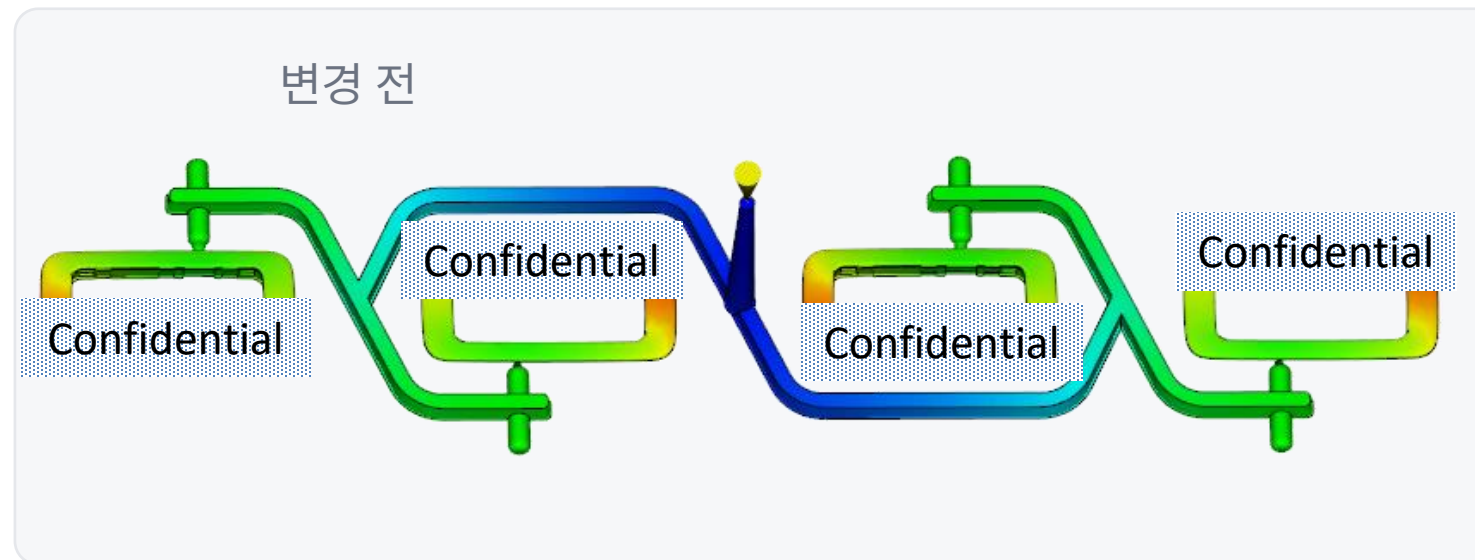
세 레버는 모두 하나의 목표를 향합니다 — 최대 잔류 응력을 임계 응력  $\sigma_c$  이하로 낮추면서, 동시에 싱크마크를 억제해 안전 윈도우를 넓히는 것.

## 04

## 최적화 ① — 런너 구조 변경

압력 손실 재설계로 유동 유발 응력의 근원을 줄이다

런너 시스템 재설계



콜드러너를 핫런너로 변경

압력 손실을 줄여 동일 충전에 더 낮은 사출·보압으로 도달 — 전단 발열과 동결 응력 감소.

- ✓ 런너 구조 변경만으로도 게이트 부근 최대 전단·잔류 응력이 유의하게 감소함을 해석으로 확인 — 응력의 근원을 직접 확인합니다.

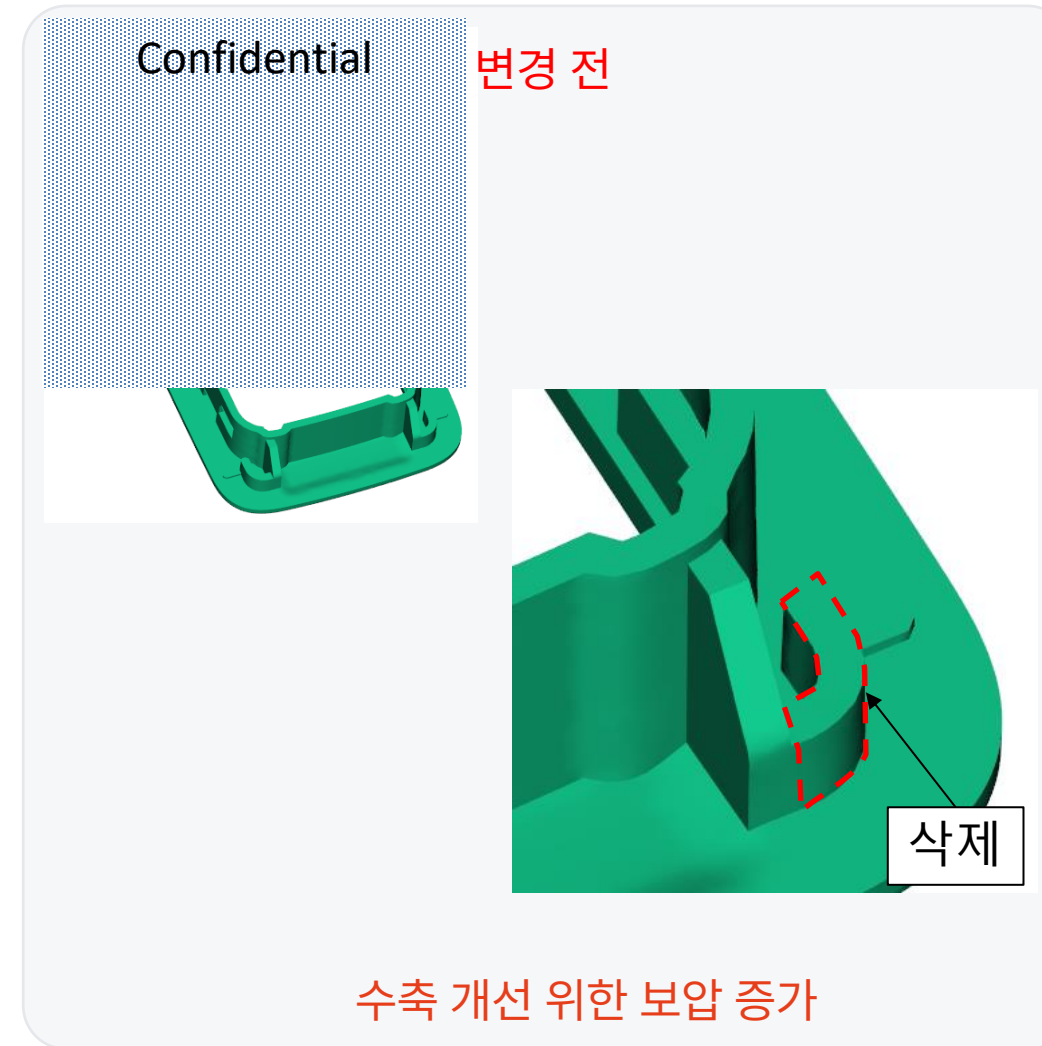
## 04

## 최적화 ② — 배면 리브 삭제 및 형상 변경

수축 개선을 위한 리브 삭제 및 두께 축소 설변

형상 최적화 개념

사출 압력 개선 효과  
 보압 Confidential Mpa 개선



- ✓ 형상 최적화는 더 낮은 압력으로 동일 품질을 달성하게 함으로써, 보압 윈도우의 상·하한을 모두 여유있게 넓혀줍니다.

## 04 최적화 ③ — 공정조건 변경

보압·속도·온도·냉각의 통합 튜닝으로 응력 이완 확보

보압

### 최소 임계 보압

싱크마크가 생기지 않는 최소 수준까지 보압을 낮추고, 게이트 고화 시점까지만 보압 시간을 한정 — 과충전 방지.

90%

고속 충전 구간

속도

### 다단 사출 속도 제어

캐비티 90%까지 고속 충전, 응력 밀집 구간(게이트·유동 말단)에서는 정밀 감속으로 전단 완화.

최소

싱크 회피 임계 보압

온도

### 수지·금형 온도 상향

권장 범위 내 상향으로 유동성 개선, 분자 사슬이 응력을 이완

$+\Delta^{\circ}\text{C}$

온도 상향 → 응력 이완

냉각

### 냉각 시간 연장

밀핀 타격 충격을 견딜 충분한 강성 확보 후 취출

$+t$

냉각 연장 → 취출 안정

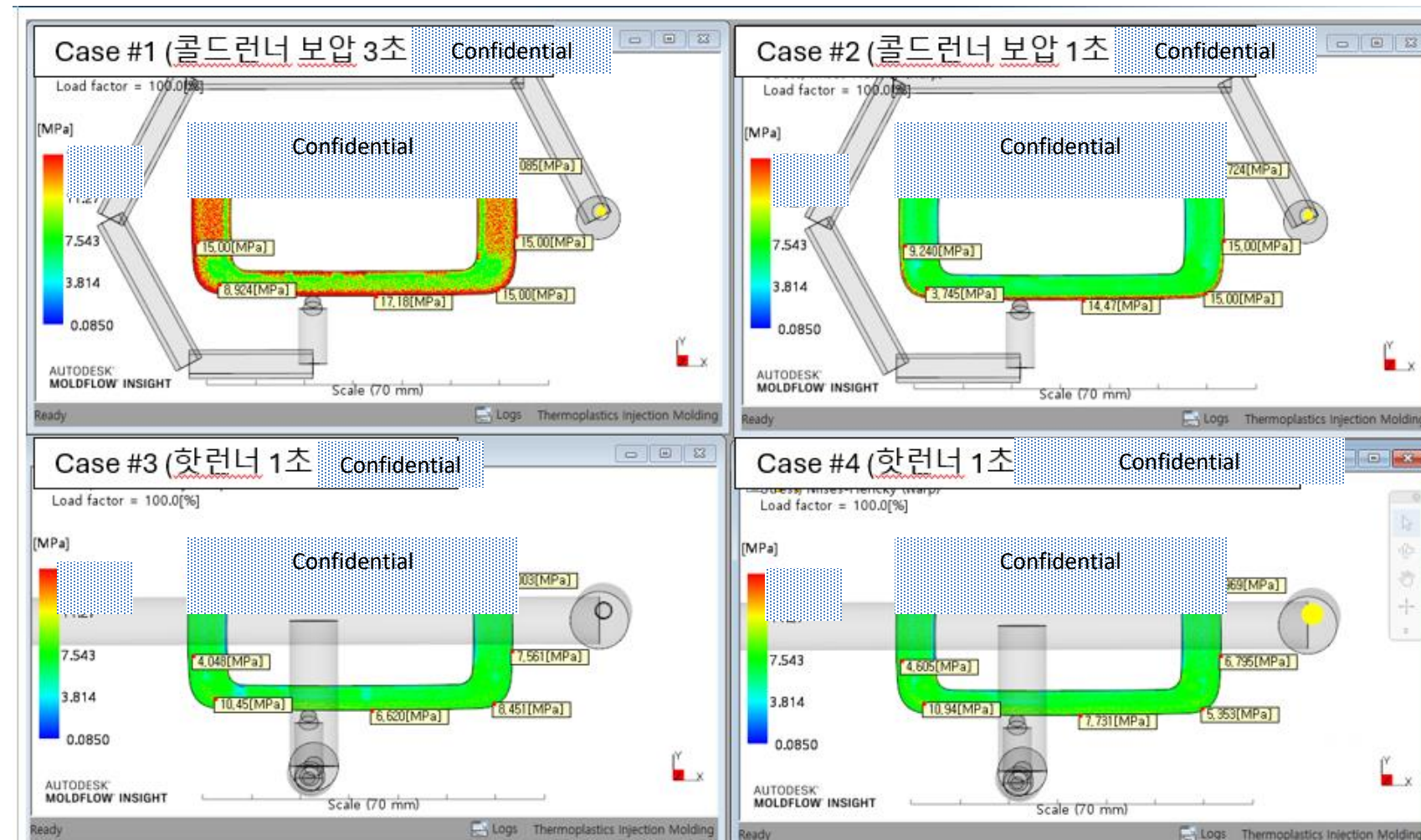
✓ 공정 레버는 가상 공간에서 사전 튜닝되어, 설비 점유 없이 최적 파라미터 조합을 도출합니다 — 현장 시행착오 비용을 제거합니다.

05

## Moldflow 검증 결과 — Before / After

최대 응력 -36%,  $\sigma_c$  이하 달성 · 싱크마크 동시 억제

BEFORE / AFTER — MOLDFLOW 결과



동시 해결

백화(응력↓)와 싱크마크(보상 유지)를 한 조건에서 동시에 만족.

**-36%**

최대 잔류 응력 저감 ( Confidential MPa)

✓ 개선 가능성 검증 완료: 런너·두께·공정 최적화로 최대 응력을 임계 응력  $\sigma_c$  이하로 끌어내려, 응력배화와 싱크마크의 상충을 동시에 해소.

## 05

## 결론 및 기대 효과

원인 규명 → 상충 해소 → 신뢰성 향상의 통합 성과

1

## 원인의 정량 규명

응력백화 근본 원인이 보압 증가에 따른 유동 유발 응력 상승임을, 백화가 임계 응력을 갖는 문턱 현상임을 Moldflow로 확인.

2

## 상충관계의 해소

런너·두께·공정의 통합 최적화로 안전 윈도우를 넓혀, 현장에서 풀지 못했던 싱크마크 ↔ 백화 딜레마를 동시에 해결.

3

## 신뢰성 향상

외관 결함 차단을 넘어 내부 구조 취약화까지 예방

-36%

최대 잔류 응력 저감

 $\sigma_c \downarrow$ 

임계 응력 이하 달성

2-in-1

백화·싱크 동시 해결

0건

개발 단계 백화 목표



기대 효과: 설계·금형·공정을 통합 최적화하는 사전 시뮬레이션 기반 사출 공법으로, 자동차 블랙 부품의 응력백화를 개발 단계에서 원천 차단.

THANK YOU

# 사전 시뮬레이션 기반의 과학적 사출 공법으로 무결점 품질을 달성하겠습니다

Moldflow로 응력 백화의 원인을 정량 규명하고, 런너·두께·공정 최적화로 싱크마크와의 상충관계를 동시에 해결했습니다. 앞으로도 글로벌 자동차 시장이 요구하는 품질 기준을 선제적 해석으로 충족해 나가겠습니다.

발표

(주)일흥 금형개발부 노태현 차장

행사

Autodesk Simulation Day · 주최 ED&C