

< 학술논문 >

Hard IP Invisible PAB 의 밀링타입 Tear Seam 해석 방안 연구

최요한^{†*} · 이강욱^{*} · 안병재^{*}

A Study on Opening Analysis of Milling type Tear Seam of Hard IP Invisible PAB Door

Y. H. Choi, K. W. Lee and B. J. Ahn

Key Words : IPAB(Invisible Passenger Airbag), Tear Seam, Equivalent Shell Thickness, Equivalent Material, RWT(Residual Wall Thickness)

Abstract

In most of the passenger side airbag door in hard type IP today is designed with invisible tear-seam line. In order to design the tear-seam invisible, the tear-seam must be designed with required RWT (residual wall thickness) that is just thick enough to be broken by the PAB pressure on deployment and not by other surrounding impact forces. Hence, keeping the right optimum opening force is very important, and finding the right RWT became the key in designing the tear-seam. The study conducted in this paper describes the search for the optimum RWT around the tear-seam by using finite element method and the optimum RWT is suggested for milling type tear-seam having V-shape cross-section.

1. 서 론

최근 대부분의 hard IP 타입의 passenger airbag 은 외관상 눈에 띄지 않도록 전개 라인이 안쪽에 가공되어 있는 invisible passenger airbag (IPAB) 형태를 하고 있다. 이러한 눈에 띄지 않는 전개 라인을 Tear Seam 이라 하는데 전개 성능에 큰 영향을 미치게 된다. Tear Seam 의 요구 조건은 IPAB 를 인플레이터의 압력에서 효과적으로 전개시키고, 그 외의 충격에서는 파손이 없어야 하며 전개 시에도 Tear Seam Line 을 제외한 영역에서 파손이 발생하지 않아야 한다. 또한 전개 성능만 고려하여 설계하게 되면 외관에서 자중이나 열변형에 의한 Tear Seam Line 이 노출되면서 감성 품질 관점에서 좋지 않은 결과를 가져온다.

따라서 Tear Seam Line 을 설계할 때, 적절한 open force 에서 전개되도록 설계해야만 한다. 현재 이러한 설계인자를 찾는 방법은 주로 시험을 통해 적절한 Tear Seam 형상을 찾아나가고 있다. 그러나 개발 과정에서 시간적인 효율성이 떨어지며 비용 상승을 유발할 뿐 아니라 최적화된 개선안을 보장하기 어렵다.

Tear Seam 은 크게 3 가지 타입으로 설계되는데 본 논문에서는 그 중 V shape 단면의 밀링 타입에 대하여 설계 인자인 IPAB Door 각 부분의 잔존량 (RWT, Residual Wall Thickness)의 변화에 따른 전개 시에 요구되는 open force 를 예측하였다. IPAB Door 의 전개 성능을 예측하기 위해 수행되는 Impactor Door Opening 시험을 FE 해석으로 모사하여 제품 개발과정에서 시험 횟수를 줄이고자 각각의 설계 인자의 최적화 해석을 수행하였다. 해석 Solver 는 LS-DYNA 를 사용하였다.

[†] E-mail : yohan@mobis.co.kr
TEL : (031)288-6777 FAX : (031)899-1636

* 현대모비스 응용기술연구팀

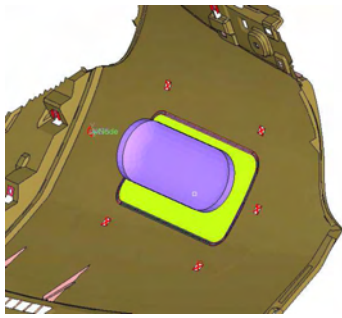


Fig. 1 Impactor door opening test model

2. IPAB Door Opening 해석

2.1 Tear Seam 모델링

IPAB 전개 시 Door 의 가장자리를 따라 IP core 내측에 가공되는 Tear Seam 은 Door 의 전개 성능에 가장 큰 영향을 주게 된다. FE 해석으로 구현될 Impactor Door Opening 시험은 airbag 대신 Fig.1 과 같은 impactor 로 Door 를 타격하여 Door 의 원활한 열림을 사전에 확인하기 위해 수행된다. FE 모델은 2 차원 shell 모델을 사용하게 되는데 2 차원 Tear Seam 요소에 적용하게 되는 등가 두께 (Equivalent Thickness)는 밀링으로 V 자 형태의 홈이 가공되기 때문에 불연속적인 두께를 갖게 된다. 따라서 실제 Tear Seam 의 거동을 정확히 모사하기 위해 3 차원 미소 모델로부터 등가 두께 및 등가 물성 (Equivalent material)을 계산하여 2 차원 shell 요소에 적용하도록 한다. 3 차원 미소 모델은 인장하중을 적용하여 stress-strain 곡선을 계산하고 2 차원 요소가 같은 거동을 보이도록 등가 두께, 파단 신율을 보정하였다.

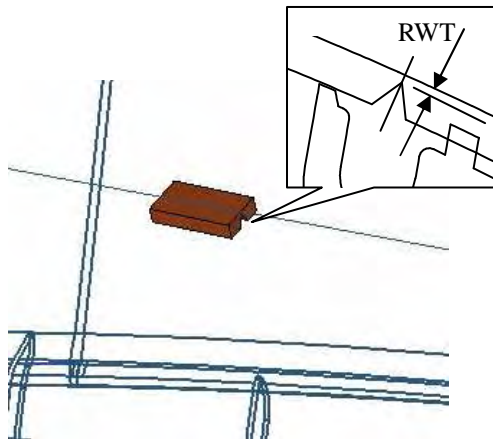


Fig. 2 Tear seam micro model

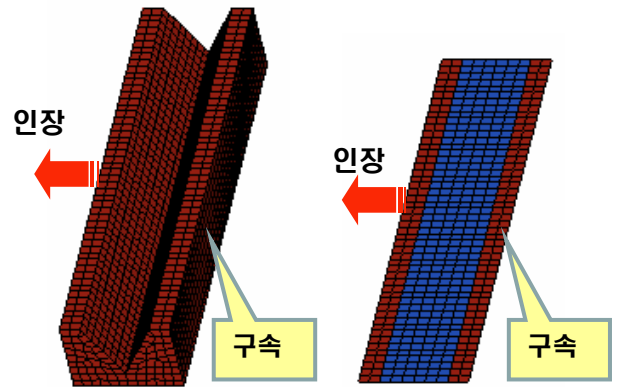


Fig. 3 Micro model extension analysis

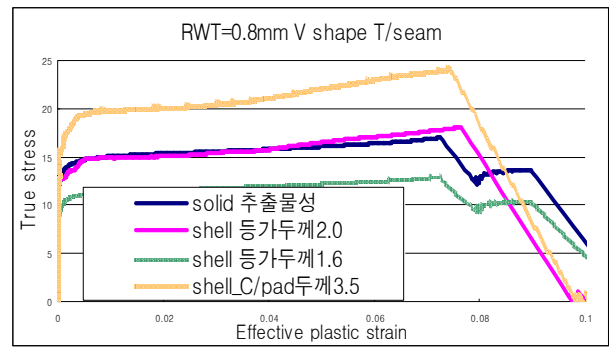


Fig. 4 Tear seam equivalent 2-D shell property

2.2 Impactor Door Opening 해석

Fig. 5 에서 알 수 있듯이 IPAB Door 의 Tear Seam Line 은 각각 부위별로 다른 잔존량 (RWT) 으로 설계되며 힌지부에는 브릿지가 적용되어 힌지의 파손을 예방하고 있다. 앞서 국소 Tear Seam 모델의 인장 해석에서 찾은 2 차원 요소의 등가 두께와 물성을 Tear Seam Line 에 적용하여 Impactor Door Opening 해석 결과와 시험 결과를 비교 하여 등가 두께와 물성 적용의 타당성을 검토하였다.

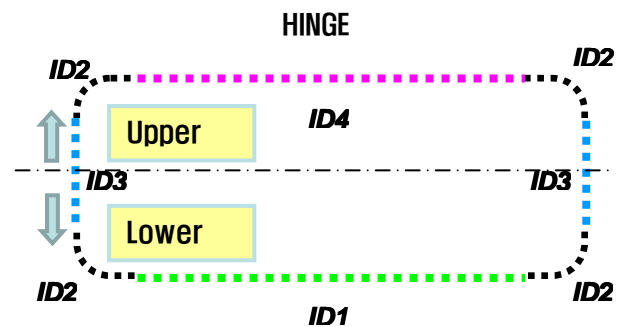


Fig. 5 Milling scoring pattern

Table 1 Equivalent properties (PPF)

| RWT (잔존량) | E | SIGY | FAIL | Equivalent Thickness |
|--------------|-------|------|------|-------------------------|
| 0.6 | 449.8 | 7.24 | 0.12 | 1.5 |
| 0.7 | 450.0 | 7.28 | 0.12 | 1.75 |
| 0.8 | 596.7 | 14.3 | 0.12 | 2.0 |
| 0.9 | 596.7 | 15.5 | 0.12 | 2.25 |
| 1.0 | 650.7 | 16.9 | 0.13 | 2.5 |
| 1.1 | 705.4 | 17.8 | 0.14 | 2.75 |
| Original | 1360 | 23.2 | 0.38 | - |

2.2.1 등가 물성 및 등가 두께 보정

Fig.3 으로부터 얻어진 stress-strain 곡선을 IPAB 전개 해석이나 Head Impact 와 같은 거시 해석 모델의 2 차원 요소에 그대로 등가시킬 수 없다. 이유는 여기서 수행된 3 차원 Solid 해석 모델의 경우 3 축 응력 특성이 전부 고려되지만 2 차원 모델은 2 축 응력만을 고려하기 때문이다. 따라서 2 차원 Shell Tear Seam 요소가 Solid Tear Seam 모델의 거동을 모사하기 위해 2 차원 Shell 모델에 부과하는 등가 두께와 파단 신율을 변화시켜 가며 Fig 4 와 같이 Solid 모델의 커브와 가장 유사한 등가 두께와 신율을 찾아야 한다. 등가 두께는 최소 잔존량 두께에서부터 최대 IP core 의 두께의 범위 내에서 찾게 되며 파단 신율은 0.1 부터 본 재질 PPF 의 신율인 0.38 의 범위 내에서 찾을 수 있다. 각각의 잔존량에서의 등가 물성과 등가 두께를 Table 1 에서 확인할 수 있다.

2.2.2 Impactor Door Opening 시험-해석 비교

Fig.1 의 Impactor Door Opening 해석 모델의 Door 에는 Fig.5 와 같은 Tear Seam Line 에 앞 절에서 찾아낸 등가 두께와 등가 물성을 적용하여 Impactor 타격을 하게 된다. 사용되는 Impactor 는 6.053kg 의 강체를 25kph 의 속도로 타격하게 되며 타격 시 Impactor 의 가속도를 측정하여 Door 의 open force 를 계산한다.

Table 2 Pattern types and force result

| 설계변수 | A type | | | | B TYPE | | | |
|------|---------|-----|------------|----------------|---------|-----|------------|----------------|
| | ID1 | ID2 | ID3 | ID4 | ID1 | ID2 | ID3 | ID4 |
| 잔존량 | 0.8 | 0.8 | 0.9 1.0 | 1.1/ BRIDGE | 0.6 | 0.6 | 0.7 0.8 | 1.1/ BRIDGE |
| 열림력 | 2,904 N | | | | 2,192 N | | | |

PO_B_type

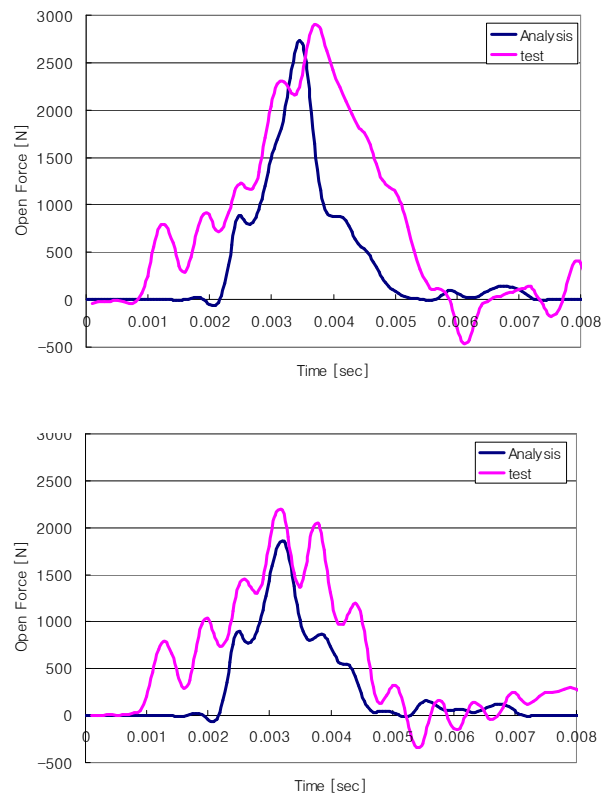


Fig. 6 Impactor door open test-analysis comparison (up) A type, (down) B type

해석 결과와 시험 결과를 비교하면 패턴 타입에 따라 Fig .6 과 같이 나타나는데, A type 은 6.02%, B type 은 15.26%의 오차범위 내에서 시험과 일치하고 있다. 시험 - 해석 간 타격 각도와 타격 위치 등 조건에 의한 노이즈 인자가 있을 수 있지만 각각의 경우의 최대값을 판단 기준으로 하면 다소간의 노이즈와 파형 편차는 어느 정도 무시할 수 있다.

3. Tear Seam 패턴의 최적화

3.1 Tear Seam 잔존량 민감도 해석

V 자 형태의 단면을 가공할 때 잔존량 두께에 의해 깊이 등 다른 인자들이 모두 종속되기 때문에 제어인자를 잔존량 두께 하나만을 이용할 수 있다. 즉 각각의 설계변수 ID1~4 의 잔존량을 제어 인자로 하여 Door 의 Open force 에 대한 민감도를 알아보기 위해 실험계획법 (DOE, Design of Experiments)을 수행하였다. DOE 직교배열표를 만들기 전에 ID4, 힌지는 고정시키고 제어인자에서 제외하였다.

Table 3 Noise limitation

| | | |
|--------|--------------|--------------|
| Noise1 | 잔존량 +0.1 | |
| | 기계적 특성 +10%, | 기계적 특성 -10%, |
| Noise2 | 잔존량 -0.1 | |
| | 기계적 특성 +10%, | 기계적 특성 -10%, |

3.1.1 직교배열표

제어 인자는 ID1, ID2, ID3L, ID3U 각각의 잔존량으로 선정하였다. 잔존량의 제어 수준은 3 수준으로 0.7, 0.8, 0.9mm로 설정하였으며, 노이즈 인자로는 재료의 특성과 가공오차 등이 있을 수 있으므로 잔존량의 ±0.1mm와 등가 물성의 오차를 감안하여 기계적 특성인 stress-strain 커브를 ±10%씩 증감하여 적용하고자 하였다. Table 3에서 볼 수 있듯이 해석 횟수를 줄이고자 노이즈의 극한값만을 고려하여 2가지 경우의 노이즈만 고려하기로 하였다. 3 수준 제어인자 4 개로 직교배열표는 L9(3⁴)가 되며 Table 4와 같이 정리된다.

Table 4 L9(3⁴) DOE matrix

| Case | 제어인자 [mm] | | | |
|------|-----------|---------|----------|----------|
| | A (ID1) | B (ID2) | C (ID3L) | D (ID3U) |
| 1 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| 2 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| 3 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| 4 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| 5 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.7 |
| 6 | 0.8 | 0.9 | 0.7 | 0.8 |
| 7 | 0.9 | 0.7 | 0.9 | 0.8 |
| 8 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.9 |
| 9 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.7 |

3.1.2 DOE matrix 해석 결과

9개 case에 대하여 Noise1, 2를 적용하여 총 18 case에 대한 해석 결과 Table 5와 같은 결과를 얻었다. 노이즈 인자에 대하여 가장 강건한 설계안은 case 4로 < A:0.8 B:0.7 C:0.8 D:0.9 > S/N 비는 7.5451을 나타낸다. 특이할 만한 것은 2개의 노이즈 인자들의 극한값만을 취하여 적용하였기 때문에 Noise1, 2 간의 결과가 다소 큰 차이를 보이고 있다.

Table 5 DOE analysis results [N]

| Case | Noise1 | | Noise2 | | S/N Ratio |
|------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------|
| | 잔존량 +0.1 | | 잔존량 -0.1 | | |
| | Hardening Curve +10% Shift | Hardening Curve -10% Shift | Hardening Curve +10% Shift | Hardening Curve -10% Shift | |
| 1 | 3422.22 | 1796.29 | 1796.29 | 1796.29 | 7.1185 |
| 2 | 3458.79 | 1832.26 | 1832.26 | 1832.26 | 7.2353 |
| 3 | 3524.92 | 1798.81 | 1798.81 | 1798.81 | 6.7726 |
| 4 | 3545.51 | 1923.26 | 1923.26 | 1923.26 | 7.5451 |
| 5 | 3559.68 | 1912 | 1912 | 1912 | 7.4146 |
| 6 | 3630.27 | 1961.43 | 1961.43 | 1961.43 | 7.4922 |
| 7 | 4921.98 | 2508.43 | 2508.43 | 2508.43 | 6.7568 |
| 8 | 5002.28 | 2554.73 | 2554.73 | 2554.73 | 6.7820 |
| 9 | 5160.69 | 2708.43 | 2708.43 | 2708.43 | 7.1168 |

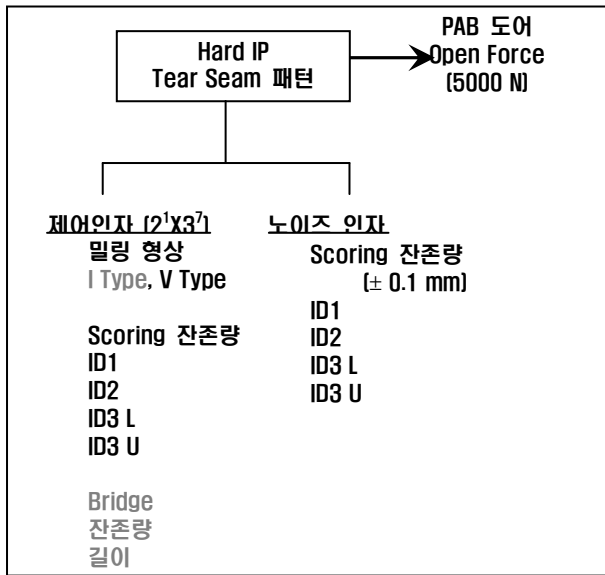


Fig. 7 Design parameters & noises

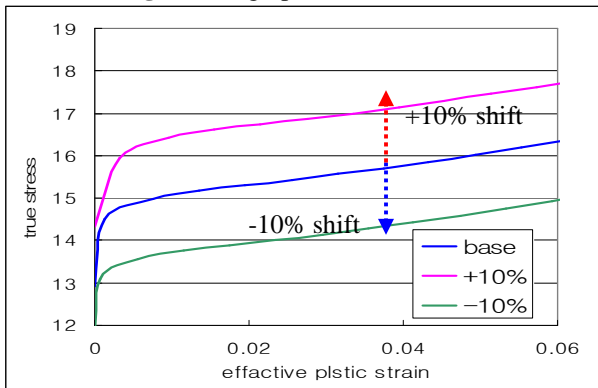


Fig. 8 Stress-strain curve ± 10% shift for noise

Table 6 Best case S/N ratio prediction and result [N]

| | 제어인자 | | | | N1 | N2 | S/N Ratio |
|----|------|-----|-----|-----|--------|--------|-----------|
| | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | | | |
| 예상 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | - | - | 7.7323 |
| 해석 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 3548.9 | 1935.4 | 7.6166 |

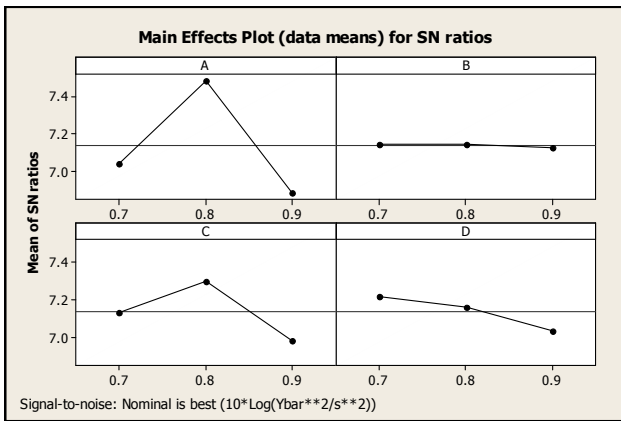


Fig. 9 Main effects plot (data means) for SN ratios

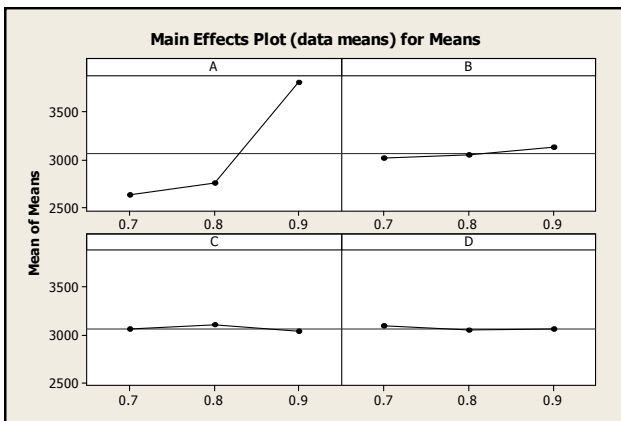


Fig. 10 Main effects plot (data means) for means

3.1.3 민감도 분석

각 제어 인자의 S/N 비 분석은 Fig.9 에서 알 수 있듯이 A:0.8 B:0.8 C:0.8 D:0.7 일 때 가장 큰 값의 S/N 비를 얻을 수 있으며 이는 가장 노이즈에 대하여 강건한 설계안이라고 할 수 있다. Table 6 에서 그 예상 S/N 비는 7.73 이며 해석 결과에 의한 S/N 비는 7.62 로 나타난다. 평균값에 대한 민감도는 Fig. 10 에서 A 가 가장 민감한 것으로 나타났으며 나머지 B, C, D 인자는 평균값에 비교적 영향이 없는 것으로 분석된다.

3.2 최적화 패턴 타입 도출

최적화 패턴 타입을 도출하기 위해 최적값으로 선정된 5000N 을 목표로 민감도 해석 결과를 이용하여 도출하였다. 최적안의 결과는 노이즈를 적용하지 않는다. 민감도 해석 결과 평균값에 A 인자가 가장 민감하므로 A 인자, 즉 ID1 의 잔존량에 Door Open force 결과가 민감하다고 할 수 있다. 또한 선정된 노이즈 인자들에 대하여 강건한 결과를 도출하기 위해 A 인자를 제외한 나머지 인자들은 가장 S/N 비가 높게 나타나는 B:0.8 C:0.8 D:0.7 로

Table 7 Optimal research

| | A (ID1) | B (ID2) | C (ID3L) | D (ID3U) | Result [N] |
|------|------------|------------|-------------|-------------|---------------|
| Opt1 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 3220.7 |
| Opt2 | 1 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 4310.01 |
| Opt3 | 1.1 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 4905.36 |

선정하였다. 해석 결과 가장 5000N 에 가까운 최적안은 Table 7 에서 Opt3 으로 ID1 의 잔존량을 1.1mm 로 설계할 경우 4905.36N 의 Open force 에서 Door 가 전개됨을 예상할 수 있다.

4. 결론

불연속적인 단면을 갖는 Tear Seam Line 의 특성을 구현하기 위해 등가두께와 등가물성을 사용하여 비교적 해석 결과가 시험 결과를 잘 구현되고 있음을 알 수 있었다. 기존의 해석 모델과는 다르게 밀링 가공 잔존량의 변화에 따른 전개 특성의 차이를 해석모델 상에 반영할 수 있는 기준을 검토하였다. 따라서 기존에 Tear Seam Line 의 특성이 미 반영되어 해석적으로 구현하기 어려웠던 타충격에 대한 Tear Seam Line 의 파손 여부 또한 검토할 수 있을 것이다. 또한 해석적으로 사전에 Door 의 전개 성능을 검토하여 IPAB 개발 기간 및 비용을 절감할 수 있을 것이라 기대된다.

참고문헌

- (1) Byunseok, Kong, Jeonggil, Park and Fongshik, Bae, 2004, "Invisible Advanced Passenger-Side Airbag Door Design for Optimal Deployment and Head Impact Performance," *SAE 2004-01-0850*.
- (2) Jaya Das, 2001, "Modeling Methodology of Tearseams for Invisible PSIR Systems," *SAE 2001*
- (3) Jessie Goyette, Vince Lanning and Manish Chaturvedi, Ted Wieczorek, Adam Trappe, Amy Meyers, 2005, "An Efficient Solution for Hard or Soft Seamless Airbag Systems," *SAE 2005-01-1223*.
- (4) Eric Jaarda, Manish Chaturvedi, Ted Wieczorek and Amy Meyers, 2008, "Development of an Instrument Panel with an Integrated Chute and Seamless Airbag Door," *SAE 2008-01-1339*.