

충격흡수시설의 탑승자보호 성능평가 기준에 관한 연구

임 재 문^{*1)} · 정 근 섭²⁾

교통안전공단 자동차성능연구소¹⁾ · 아주자동차대학 자동차학부²⁾

A Study on the Injury Criteria of the Occupant Protection Performance of Crash Cushions

Jae Moon Lim^{*1)} · Geunseup Jung²⁾

¹⁾Office of Vehicle Safety Research, Korea Automobile Testing & Research Institute, KOTSA, 625 Samjon-ri, Songsan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-871, Korea

²⁾Division of Automobile, Ajou Motor College, Chungnam 355-769, Korea

(Received 19 May 2007 / Accepted 7 November 2007)

Abstract : The performance of crash cushion systems is certified through the full scale crash tests by the standard for installation and maintenance guidelines for roadside safety appurtenance. The impact severities of impacting vehicles in collision with crash cushion systems are rated by indices THIV and PHD. Crash test results are considered to study the performance of three crash cushion systems. In case of the frontal impact or the offset frontal impact, the results show that THIV values of three systems are very close to the threshold limit for the occupant protection. Also, the results show that PHD would be improper for the occupant protection performance index. In order to improve the occupant protection performance of crash cushions, ASI needs to be included in the impact severity index.

Key words : Acceleration severity index(가속도 상해 지수), Theoretical head impact velocity(탑승자 충돌속도), Post-impact head deceleration(탑승자 가속도), Crash cushion(충격흡수시설), Full scale crash test(실물충돌시험)

1. 서 론

자동차의 도로 이탈에 따른 추락 및 전신주 등과 충돌사고, 중앙선 침범에 의한 정면충돌 등과 같은 치명적인 교통사고의 피해를 줄이기 위하여, 여러 나라에서 도로안전시설물에 대한 안전도 평가 기준을 제정하여 시행하고 있다.¹⁻³⁾

도로안전시설 중 차량방호 안전시설은 가드레일 및 중앙분리대와 같은 방호울타리와 고정된 구조물의 전면에 설치하는 충격흡수시설을 말한다. 차량방호 안전시설은 주행중 진행방향을 잘못 잡은 차량이 길 밖 또는 반대편 차로 등으로 이탈하는 것을

방지하거나, 차량이 구조물과의 직접적인 충돌을 방지함으로써 차량 및 탑승자 또는 주요 시설물을 안전하게 보호하기 위하여 설치하는 시설이다.

차량방호 안전시설은 실물충돌시험(full scale crash test)을 통하여 탑승자보호성능, 시설물의 거동 및 충돌 후 차량의 거동 등과 같은 3가지 항목에 대하여 성능평가가 이루어진다.¹⁻³⁾

차량의 충돌안전도 시험과는 달리 차량방호 안전시설의 충돌시험에서는 인체모형을 사용하지 않는다. 이는 도로시설물 등과의 충돌현상이 특히 사면충돌(oblique impact)을 많이 수반하고 있으며 현재로서는 사면충돌 시험에 적합한 인체모형이 개발되지 않았기 때문이다.^{2,4)}

*Corresponding author, E-mail: jmlim@kotsa.or.kr

차량방호 안전시설의 충돌시험시 탑승자의 상해 가능성은 차량의 동역학적인 거동에 기초하여 산출하고 있으며, 미국기준²⁾과 유럽기준³⁾이 유사하면서도 약간 다른 탑승자보호성능 기준을 사용하고 있다. 1981년 이후로 미국기준에서는 차실내의 가상 공간모델(flail space model)을 사용하여 탑승자 충격 속도인 OIV(Occupant Impact Velocity)와 탑승자 감가속도인 ORA(Occupant Ridedown Acceleration)로 탑승자 보호성능을 평가하고 있다.²⁾ 유럽기준에서는 ASI(Acceleration Severity Index)와 연계하여 변형된 가상공간모델로부터 구한 탑승자 충돌속도인 THIV(Theoretical Head Impact Velocity)와 탑승자 가속도인 PHD(Post-head Impact Deceleration)를 사용하고 있다.³⁾ 우리나라는 유럽기준과 유사하게 기준을 채택하고 있으며 유럽과는 달리 탑승자보호성능 기준으로서 ASI는 사용하지 않고 있다.¹⁾

Gabauer 등^{4,5)}의 연구결과에 의하면 ASI가 탑승자의 상해를 평가하는데 보다 좋은 지표가 되며 미국 기준에서도 도입을 검토하고 있다.

유럽에서는 탑승자보호성능 기준으로서 PHD보다 ASI를 중요시하고 있으며, 향후 PHD는 성능기준에서 제외시킬 예정으로 되어 있다.⁶⁾

차량방호 안전시설중 충격흡수시설은 도로안전시설 설치 및 관리 지침에 의해 2001년 7월 이후로 성능평가지험을 실시한 이후로 8개 회사의 CC1 등급 15개 제품, 8개 회사의 CC2 등급 10개 제품, 4개 회사의 CC3 등급 4개 제품이 그 성능을 검증받았다.

본 논문에서는 실물충돌시험을 통하여 성능을 검증받은 충격흡수시설 제품에 대한 THIV, PHD 및 ASI 결과를 검토하고, 탑승자보호성능을 향상시키기 위한 방안을 살펴보고자 한다.

2. 충격흡수시설 시험 방법 및 성능 기준

2.1 충격흡수시설 기능 및 종류

충격흡수시설은 운전자의 과실 등에 의해, 주행차로를 벗어난 차량이 도로상의 구조물과 충돌하기 전에 차량의 충격에너지를 흡수하여 정지토록 하거나, 차량의 방향을 교정하여 본래의 주행차로로 복귀시켜주는 것이다.

충격흡수시설은 에너지를 흡수하는 방법에 의해

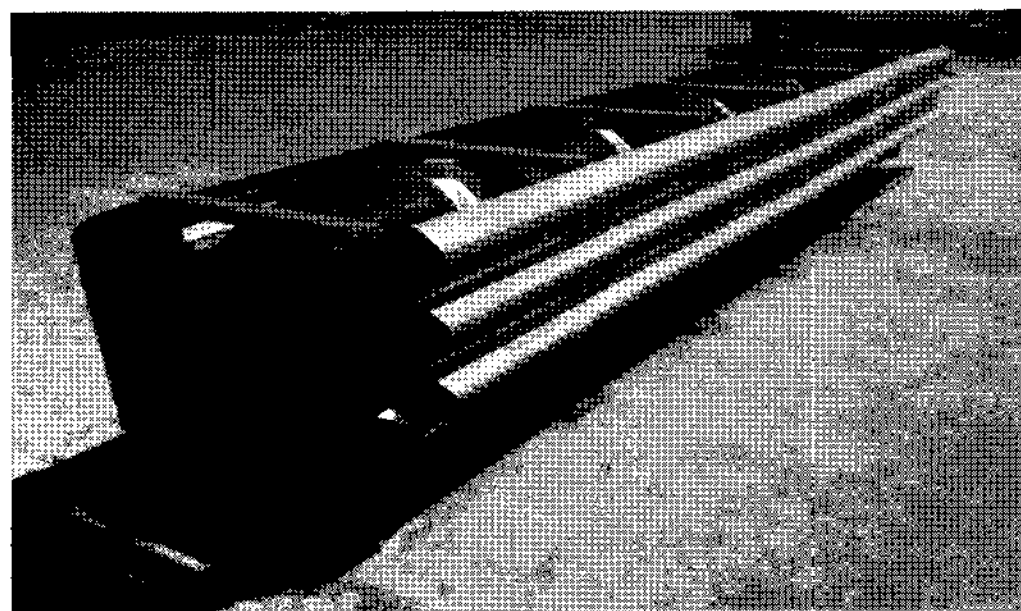


Fig. 1 Configuration of a crash cushion

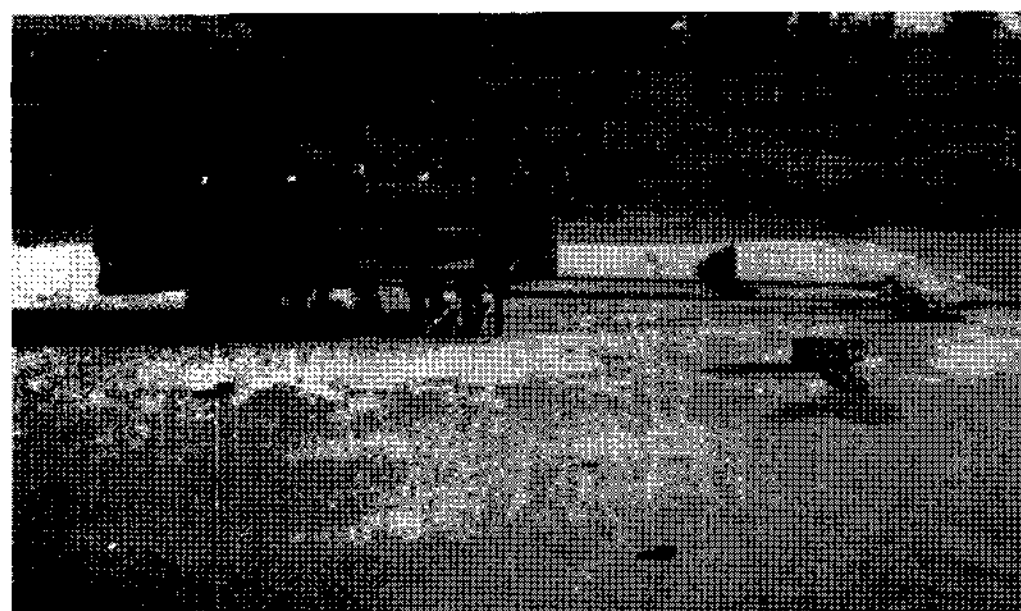


Fig. 2 Deformed shape of a crash cushion after the CC2 frontal impact test

서 관성형과 비관성형으로 구분할 수 있다. 관성형은 운동량 보존의 법칙을 적용한 형식으로 차량의 충돌에너지를 시설물로 전이시켜 차량을 정지시키며 모래채움통이 이에 속한다. 비관성형은 시설물의 변형을 통해 충돌에너지를 흡수하는 원리를 이용한 것으로 대부분의 충격흡수시설이 이에 속한다. Fig. 1, 2에 비관성형 충격흡수시설과 차량이 80km/h로 충돌한 후 변형된 형상을 나타내었다.

2.2 충돌시험 방법

충격흡수시설에 대한 충돌시험은 도로안전시설 관리지침의 차량방호 안전시설 편에 규정되어 있다.¹⁾ 충돌시험은 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 5개의 방향으로 실시하며, Table 1에 나타낸 것과 같이 CC1, CC2, CC3의 3개의 등급으로 구분하여 실시한다.

Test 1은 충격흡수시설 정면의 중앙지점과 차량을 충돌시키는 방법이며 900kg과 1,300kg의 중량을 갖는 차량으로 각각 1회씩 실시한다. Test 2는 차량 폭의 1/4 만큼 이격된 지점에 읍셋 충돌시키는 방법이다. Test 3은 시설 정면의 중앙지점에 15도 각도로

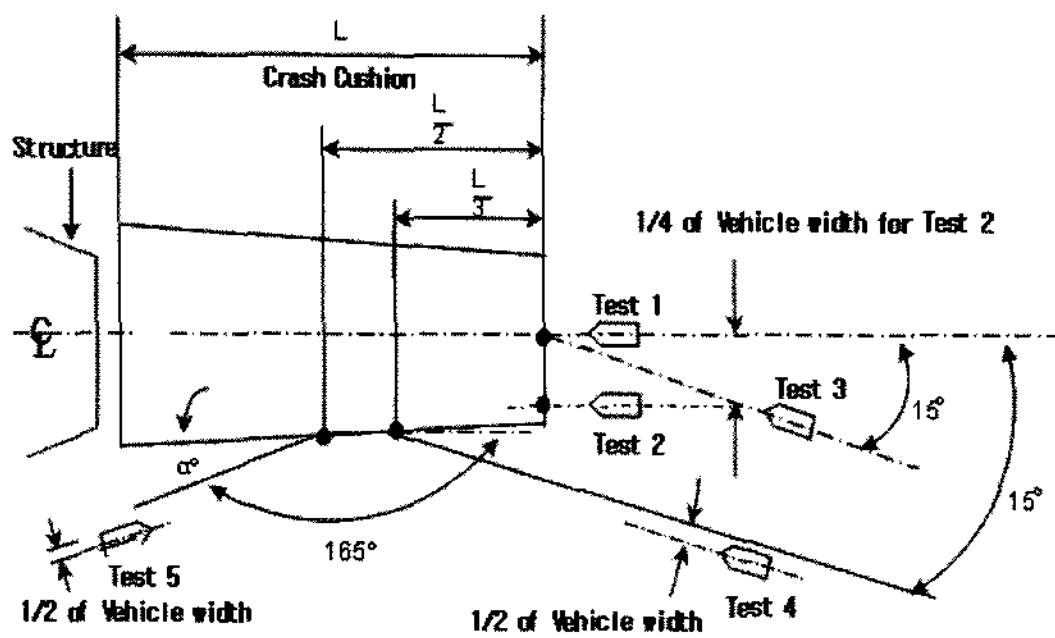


Fig. 3 Vehicle approach paths for crash tests 1 to 5

Table 1 Vehicle impact test criteria for crash cushions

Performance level	Impact velocity (km/h)	Total vehicle mass (kg)	Test condition
CC1	60	900 1,300	Test 1 Test 4
CC2	80	900 1,300 900 1,300 1,300 1,300	Test 1 Test 1 Test 2 Test 3 Test 4 Test 5
CC3	100	900 1,300 900 1,300 1,300 1,300	Test 1 Test 1 Test 2 Test 3 Test 4 Test 5

충돌시키는 방법이다. Test 4, 5는 충격흡수시설의 측면에 각각 15도와 165도로 측면 충돌시키는 방법이다.

2.3 성능기준

충격흡수시설의 성능은 탑승자 보호성능, 충격흡수시설의 거동 및 충돌 후 차량의 거동 등의 3가지 사항에 대하여 평가한다.

탑승자 보호성능은 탑승자 충돌속도인 THIV 및 탑승자 가속도인 PHD를 계산하여 Table 2와 같은 기준을 만족하여야 한다. THIV는 탑승자의 머리를 자유 비행하는 물체로 보고, 차량이 시설물과 충돌하여 머리가 차량 내부공간의 가상 면에 부딪힐 때까지 이동하는 속도를 말한다. PHD는 차량이 1차 충돌로 인해 발생하는 2차 충돌, 즉 탑승자가 차량 내부공간의 가상 면에 부딪힐 때 머리가 받게 되는

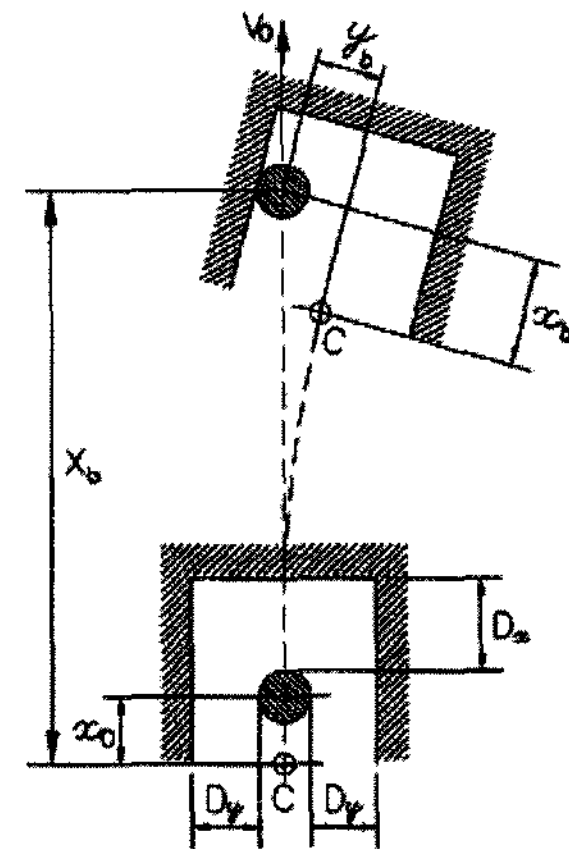


Fig. 4 Impact of the theoretical head on the left side

Table 2 Impact severity values

Index values	
THIV \leq 44 km/h in tests 1, 2 and 3	PHD \leq 20g
THIV \leq 33 km/h in tests 4, 5	

가속도 중에서 최대값을 말한다.¹⁾

Fig. 4는 이론적인 머리가 차량 내부의 왼쪽 벽에 충돌하는 경우를 나타낸 것이다. 최초 머리의 위치로부터 충돌면까지의 거리는, 종방향이 D_x 이고 횡방향이 D_y 일 때 각각 $D_x = 0.6m$ 와 $D_y = 0.3m$ 로 한다.¹⁻³⁾ 머리의 비행시간은 머리가 Fig. 4에서처럼 가상의 충돌면 3곳 중 어느 한 지점에 충돌한 시간으로 식 (1)을 만족하는 T 중 최소값으로 정해진다.

$$x_b(T) = D_x + x_0,$$

$$y_b(T) = D_y \text{ 또는 } y_b(T) = -D_y \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여 이론적인 머리의 비행시간 T 가 구해지면 THIV는 식 (2)를 이용하여 구할 수 있다.

$$THIV = [v_x^2(T) + v_y^2(T)]^{1/2} \quad (2)$$

여기서, v_x , v_y 는 차량 좌표계에 대한 머리의 상대 속도이며 이를 구하는 과정은 부록에 나타내었다. T 는 머리가 차량 내부공간에 충돌할 때까지의 비행시간이다.

탑승자의 머리가 차량 내부의 벽에 충돌한 후 차량의 충돌이 끝날 때까지 벽에 밀착되어 있다고 가정한다면, 머리가 차량 내부에 충돌한 이후 차량이 받는 가속도를 탑승자의 머리가 받는다고 볼 수

있다.

따라서, PHD는 머리가 차량의 내부에 충돌한 후에 계측된 \ddot{x}_c , \ddot{y}_c 의 10ms 평균값 가운데 최대값을 구하며, 식 (3)과 같이 계산한다.

$$PHD = \text{MAX}(\langle \ddot{x}_c \rangle^2 + \langle \ddot{y}_c \rangle^2)^{1/2}, t > T \quad (3)$$

여기서, $\langle \ddot{x}_c \rangle$, $\langle \ddot{y}_c \rangle$ 는 10ms 평균 가속도이다.

충돌시 및 직후에 충격흡수시설의 거동은 시설물이 차량의 내부를 관통하지 말아야 하며, 시설물의 주요 부분이 분리되거나 다른 차로를 침범하지 않도록 규정되어 있다. 충돌 후 차량은 지면에 바로 서 있어야 하며, 인접 차로를 침범하지 않도록 규정되어 있다.

3. ASI 정의 및 관련 연구 동향

유럽기준에서 ASI는 PHD 및 THIV와 같이 사용되고 있으며 향후 PHD가 평가기준에서 제외될 예정이기 때문에 그 중요도를 더하고 있다.⁶⁾ 유럽기준에서 ASI를 사용하게된 상세한 근거는 나와 있지 않다.³⁾ ASI는 1960년대말 미국 공군의 연구결과로부터 유래되었고 1970년대초에 TTI(Texas Transportation Institute)의 연구진에 의해 제시된 Table 3과 같은 연구결과를 채택하고 있다.⁴⁾

ASI는 식 (4)와 같이 계산되며, ASI는 차량의 가속도만을 사용하여 산출하기 때문에 탑승객이 좌석 안전띠를 착용하고 차량에 계속하여 밀착되어 있다고 가정한다.

$$ASI(T) = \sqrt{(\bar{a}_x/\hat{a}_x)^2 + (\bar{a}_y/\hat{a}_y)^2 + (\bar{a}_z/\hat{a}_z)^2} \quad (4)$$

여기에서, \bar{a}_x , \bar{a}_y , \bar{a}_z 는 차량의 각 방향에 대한 50ms 평균 가속도 성분이며 \hat{a}_x , \hat{a}_y , \hat{a}_z 는 각 방향의 가속도 성분에 대한 한계값이다. \hat{a}_x , \hat{a}_y , \hat{a}_z 는 Table 3에 나타난 것과 같이 탑승객이 무릎 안전띠 만을

Table 4 Abbreviated injury scale (AIS)

AIS value	Injury characterization
0	No injury
1	Minor
2	Moderate
3	Serious
4	Severe
5	Critical
6	Maximum/Fatal

착용하고 있다고 설정하여 각각 12g, 9g, 10g로 설정하여 사용하고 있다. 유럽기준에서 ASI는 1.0 이하일 것과 1.4 이하일 것의 두가지로 구분되어 있으며 1.4 보다는 1.0 이하가 탑승자 보호에 더 바람직하다고 언급되어 있다.³⁾

Gabauer 등의 연구결과⁴⁾에 의하면 ASI 1.0은 탑승자가 거의 상해를 입지 않은 상태를 나타내며, Table 4에 나타난 약식상해지수인 AIS(Abbreviated Injury Scale) 0 또는 1에 해당되는 상해를 입을 가능성이 80% 이상이라고 나타내었다. AIS는 1969년에 미국 자동차의학협회(AAAM)가 미국의학협회(AMA) 및 SAE(Society of Automotive Engineers)와 공동으로 개발한 상해분류법이다. AIS는 상해가 발생한 각 신체부위별로 생명에 대한 위험의 정도에 따라 Table 4에 나타난 것과 같이 6등급의 상해도로 나타낸 것이다. ASI가 1.4인 경우에는 AIS 3 정도에 해당하는 상해를 입을 가능성이 있다고 나타내었다.

Shojaati⁷⁾는 ASI와 HIC(Head Injury Criterion)의 상관관계를 연구하였으며 대부분의 경우에 ASI로부터 탑승자의 상해 정도를 잘 파악할 수 있는 것을 보여주었다. Fig. 3에 나타난 Test 4, 5와 같은 측면충돌 시험에서 구한 ASI 1.2는 HIC 200과 약식상해지수 AIS 3에 해당하며 ASI가 1.25를 넘으면 HIC 값은 기하급수적으로 증가하는 것을 보여주었다.

4. 시험결과 고찰

Table 5에는 실물충돌시험을 통해 성능이 검증된 제품 중에서 도로상에 설치된 충격흡수시설 제품 3개를 선택하여 THIV, PHD 및 ASI 값을 나타내었다.⁸⁾ 제품 A는 Fig. 1, 2에 나타난 것이며 항아리 형태의 카트리지가 변형되면서 차량의 충돌에너지를

Table 3 Tolerable acceleration limits

Restraint	Maximum acceleration (g)		
	Longitudinal	Lateral	Vertical
Unrestrained	7	5	6
Lap belt only	12	9	10
Lap & shoulder belt	20	15	17

Table 5 Index severities of crash cushions

Test method	Crash cushion A			Crash cushion B			Crash cushion C		
	THIV	PHD	ASI	THIV	PHD	ASI	THIV	PHD	ASI
Test 1 (900kg)	43.9	11.3	1.14	40.9	15.8	1.03	42.8	13.6	1.85
Test 1 (1,300Kg)	33.8	15.0	1.07	37.0	14.3	0.84	43.6	14.3	1.32
Test 2 (900kg)	43.7	11.2	1.17	43.9	13.4	1.23	42.0	12.2	1.69
Test 3 (1,300kg)	34.2	13.2	0.97	37.9	15.5	0.96	39.5	15.2	0.85
Test 4 (1,300kg)	26.6	9.3	0.98	16.0	6.3	0.68	14.6	19.5	0.92
Test 5 (1,300kg)	21.6	4.7	0.74	13.3	2.2	0.38	-	-	-

흡수한다. 제품 B는 스테인레스 와이어의 인장 변형에 의해 충돌에너지를 흡수하고, 제품 C는 타이어의 변형과 핀의 파단에 의해 충돌에너지를 흡수하는 구조를 가졌으며 전체적인 변형 거동은 Fig. 2에 나타낸 것과 유사한 형태를 갖는다.

Table 5에 나타낸 것처럼 3개 제품 모두 Test 1 또는 Test 2에서 THIV 값이 한계값에 근접한 것을 알 수 있다. 대부분의 충격흡수시설 충돌시험에서 Test 1 또는 Test 2의 THIV 값에 의해 합격 여부가 결정되며 PHD 값의 한계값 초과에 의한 경우는 드물게 나타난다. 이는 차량이 충격흡수시설에 충돌했을 때 충격에너지를 앞부분에서 많이 전달받기 때문이며, 2.3절에 정의한 것처럼 이때의 상해가능성이 THIV로 산출되기 때문이다.

충격흡수시설의 앞부분의 강성이 높지 않다면 THIV는 작은 값을 갖게 되지만 PHD 값은 크게 산출될 가능성이 높다. Fig. 2에 나타낸 것처럼 충격흡수시설의 후방지지대 부분은 뒤로 밀리거나 파손되지 않아야 하기 때문에, 충격흡수시설의 앞부분의 강성이 낮으면 초기에 차량으로 전달되는 충격에너지는 작지만 차량이 후방지지대에 의해 정지되는 과정에서 받게 되는 충격에너지는 커지기 때문이다.

ASI도 Test 1 또는 Test 2에서 대부분 한계값을 초과한 것을 알 수 있으며 Fig. 5에 나타낸 것처럼 THIV 값이 크면 ASI도 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 6~13에는 충격흡수시설 제품 A, B, C의 충돌 시험결과 중에서 ASI 값이 1.0을 초과하는 경우에 대해 PHD 곡선과 비교하여 나타내었다. PHD 곡선에서 가로축은 시간을 0.1sec 간격으로 나타내었으며, 세로축은 가속도를 g로 나타내었다. ASI 곡선에서 가로축은 PHD 곡선과 동일하며 세로축은 정의에 의해 무차원 값으로 나타내었다. Fig. 6~13에 나

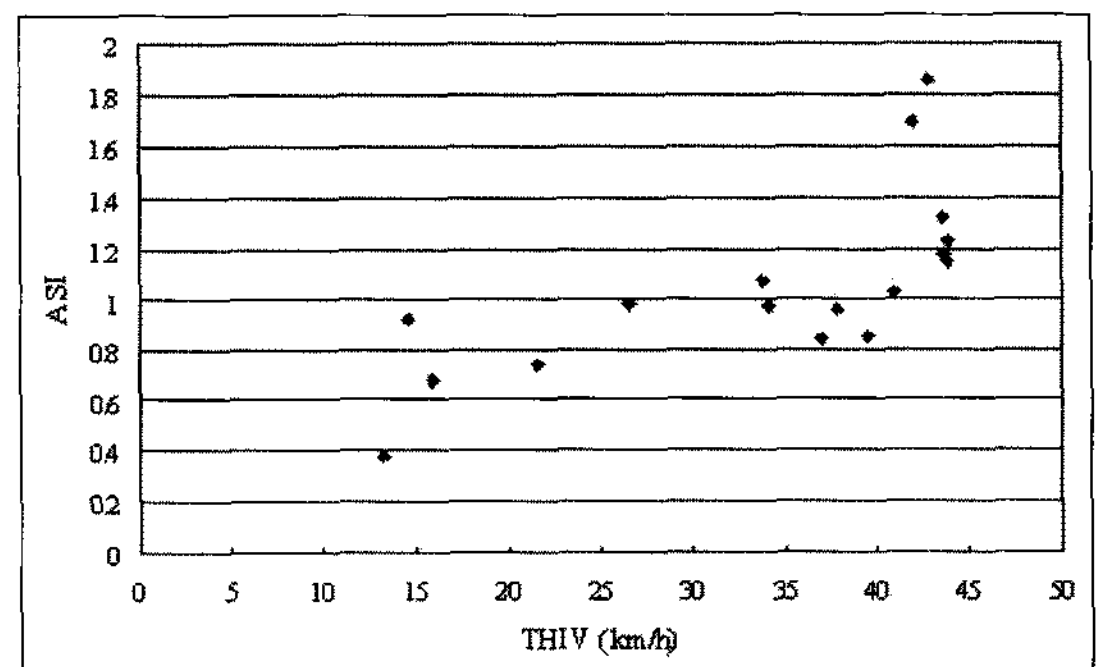
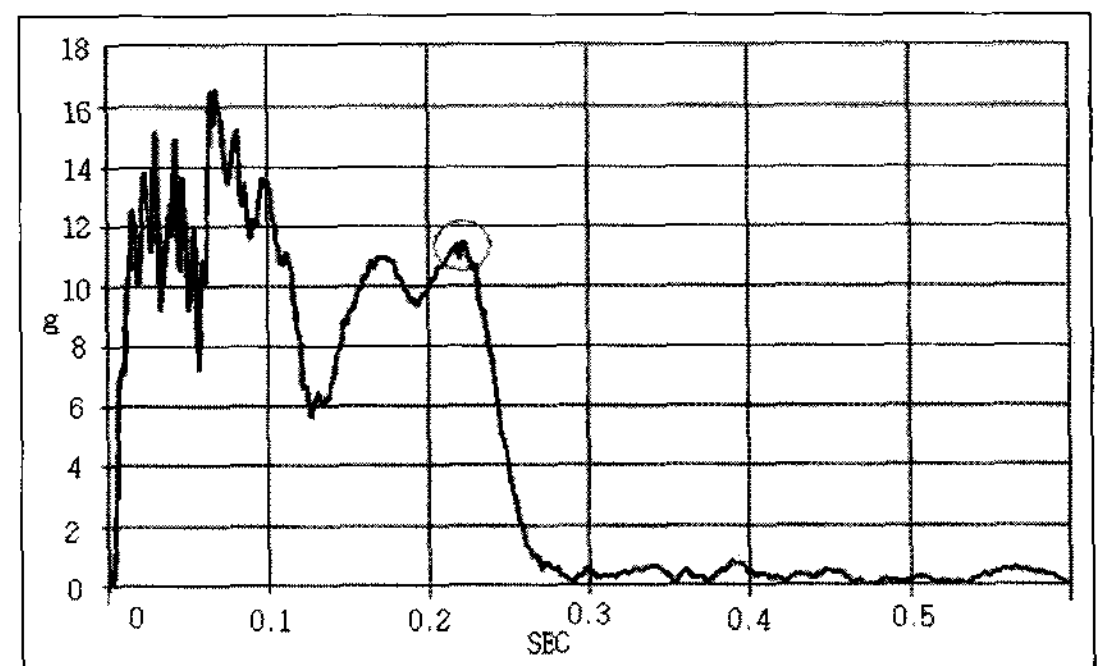
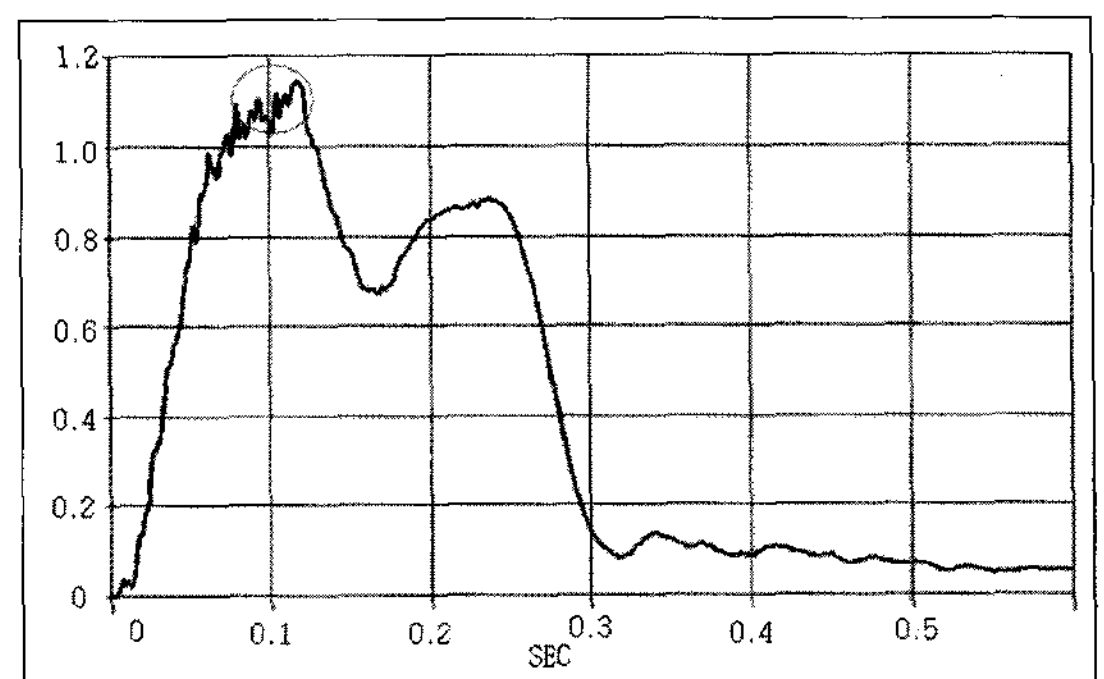


Fig. 5 Relation between THIV and ASI

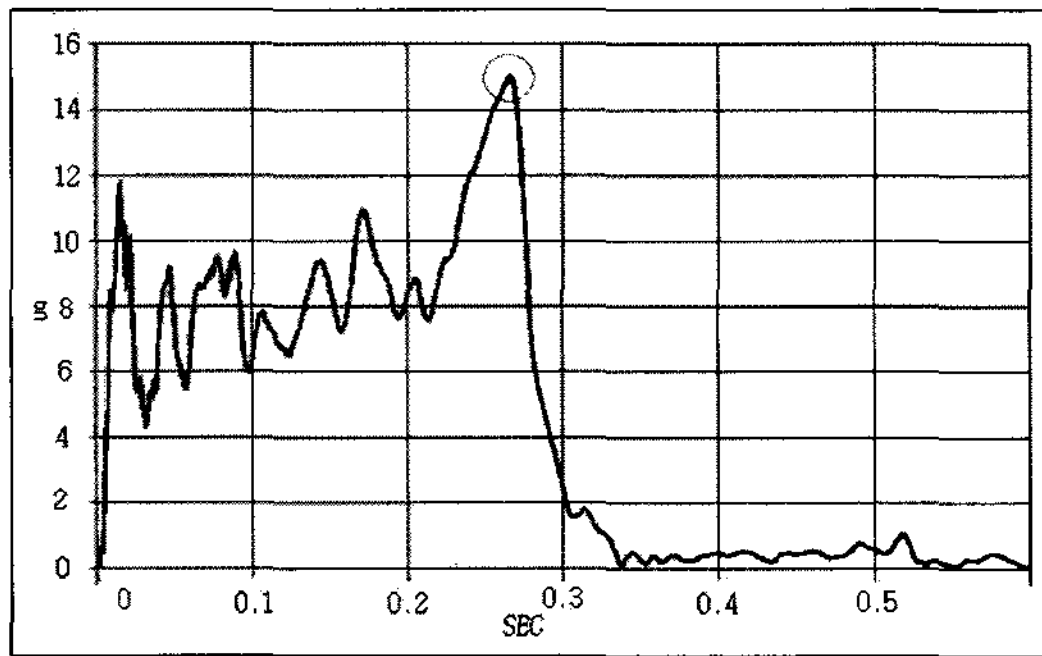


(a) PHD curve

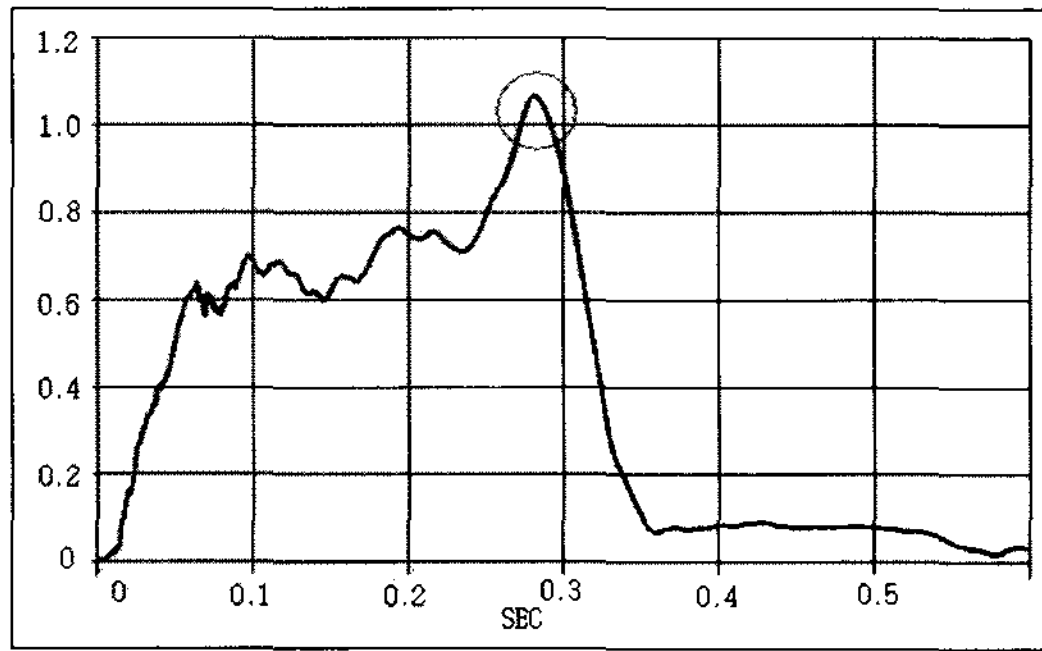


(b) ASI curve

Fig. 6 Results of crash test 1 (900kg) of the crash cushion A

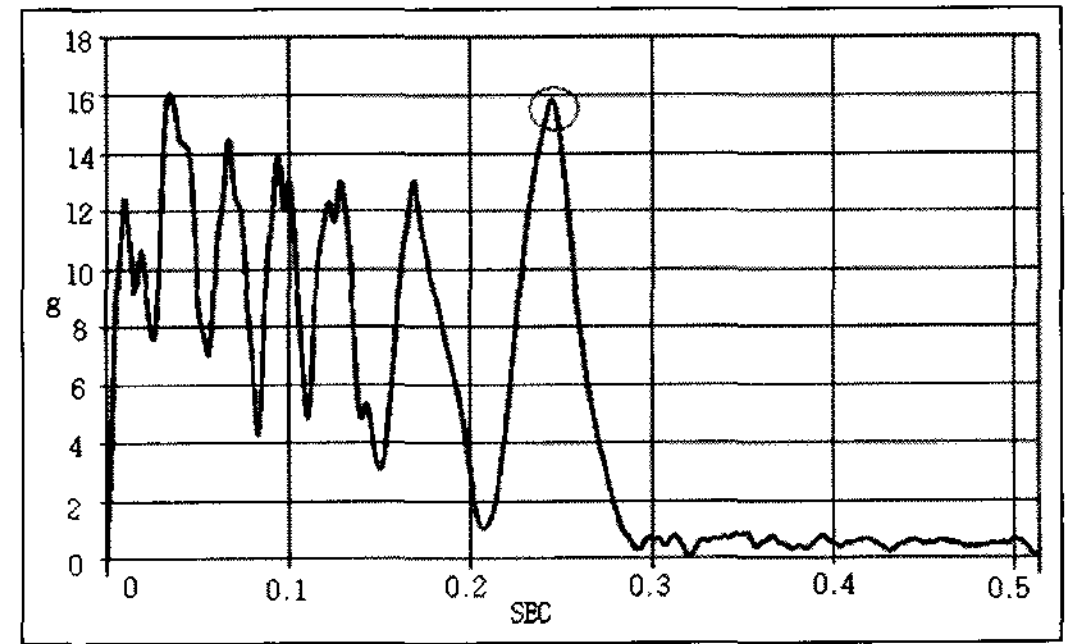


(a) PHD curve

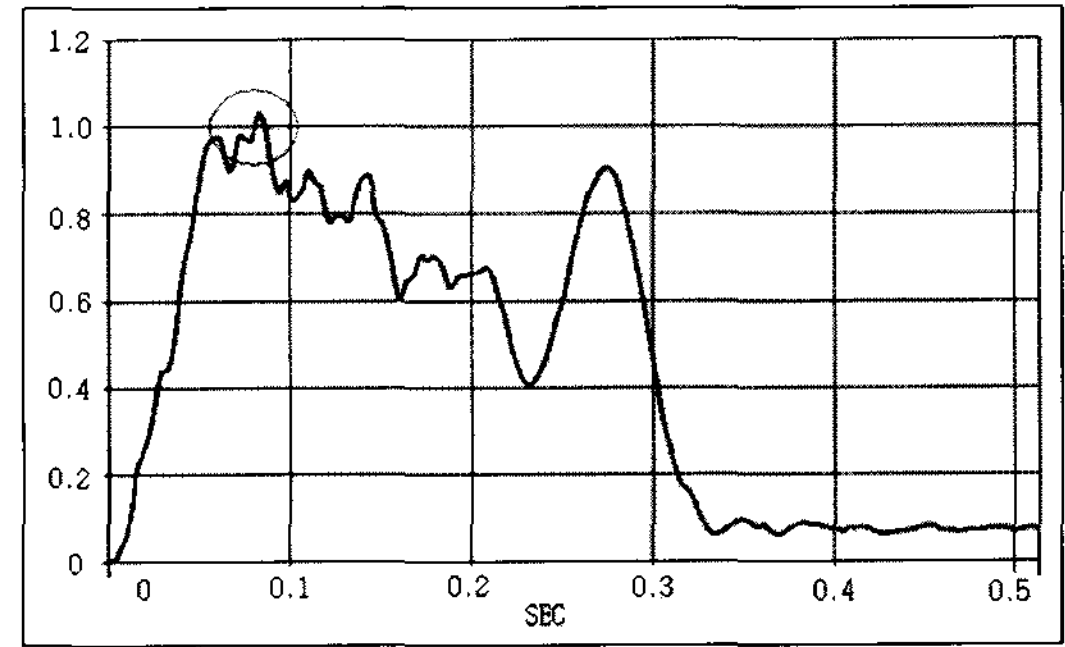


(b) ASI curve

Fig. 7 Results of crash test 1 (1,300kg) of the crash cushion A

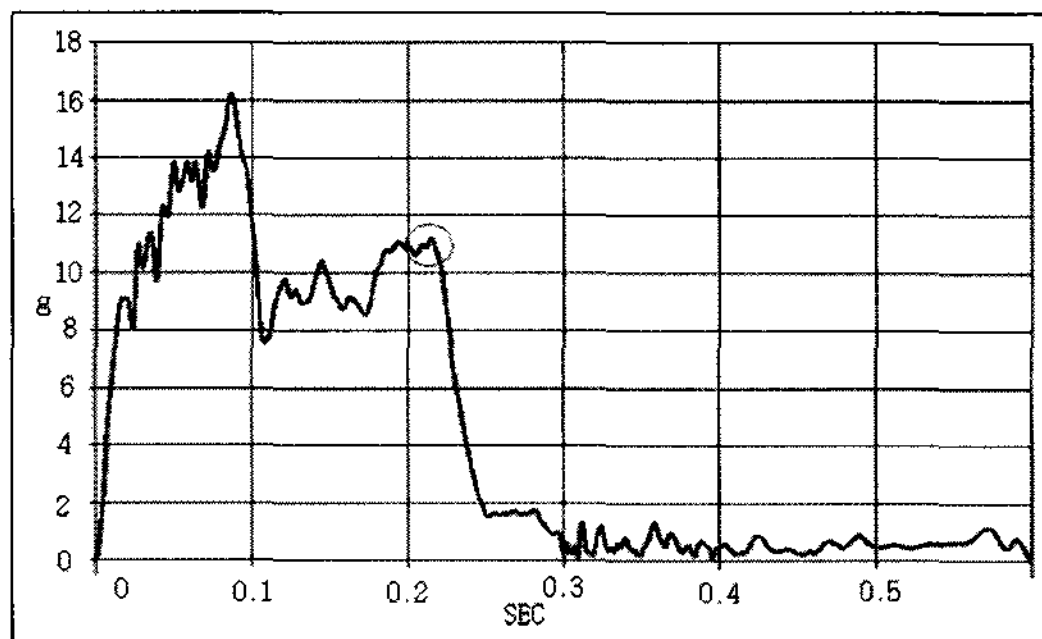


(a) PHD curve

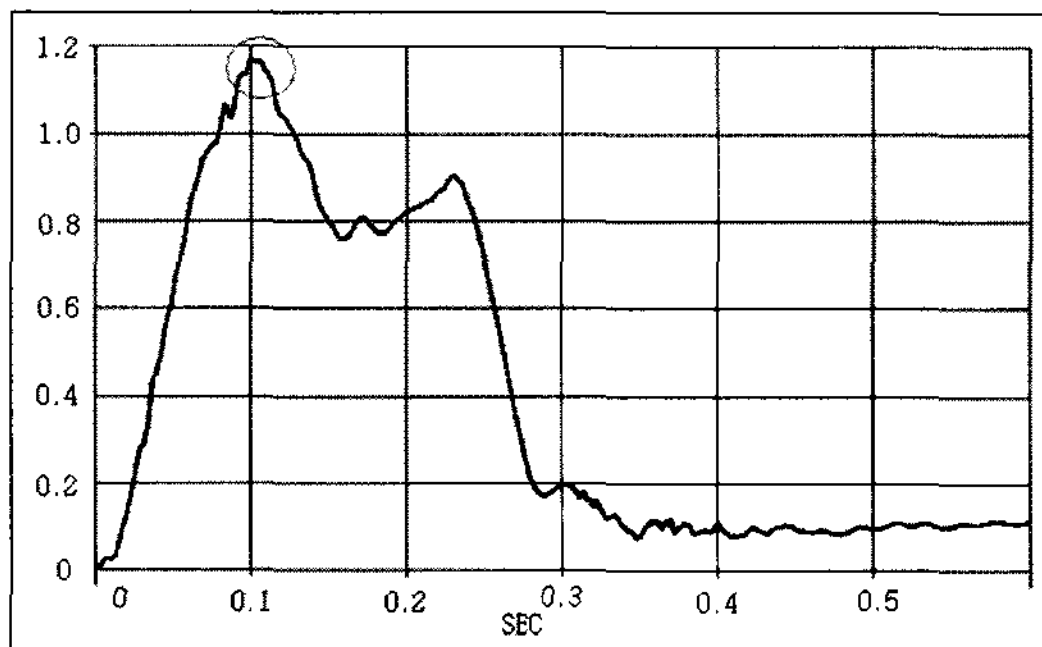


(b) ASI curve

Fig. 9 Results of crash test 1 (900kg) of the crash cushion B

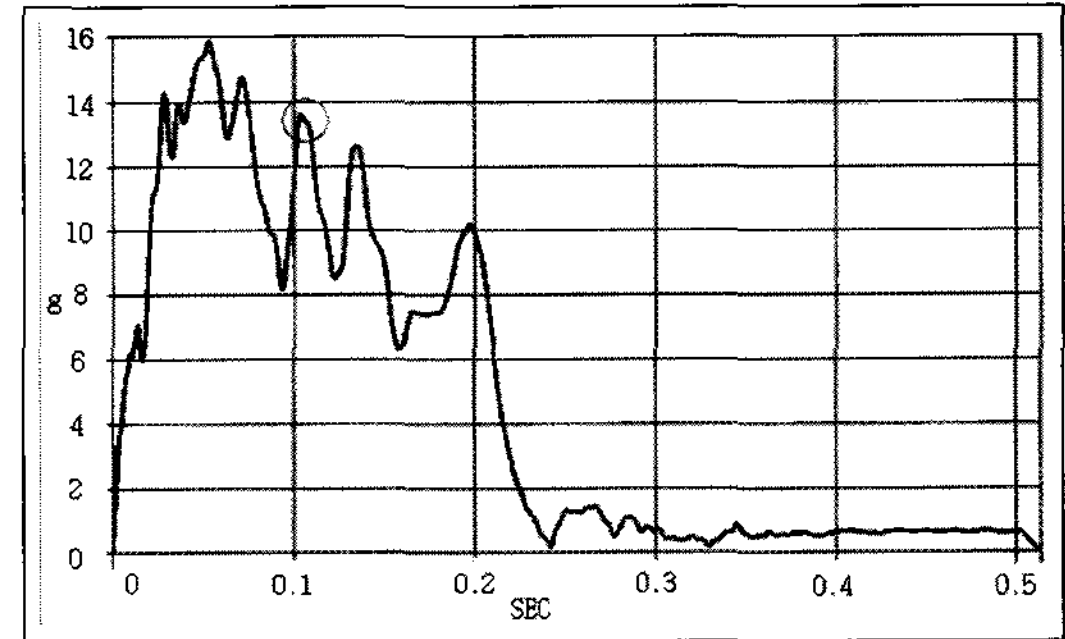


(a) PHD curve

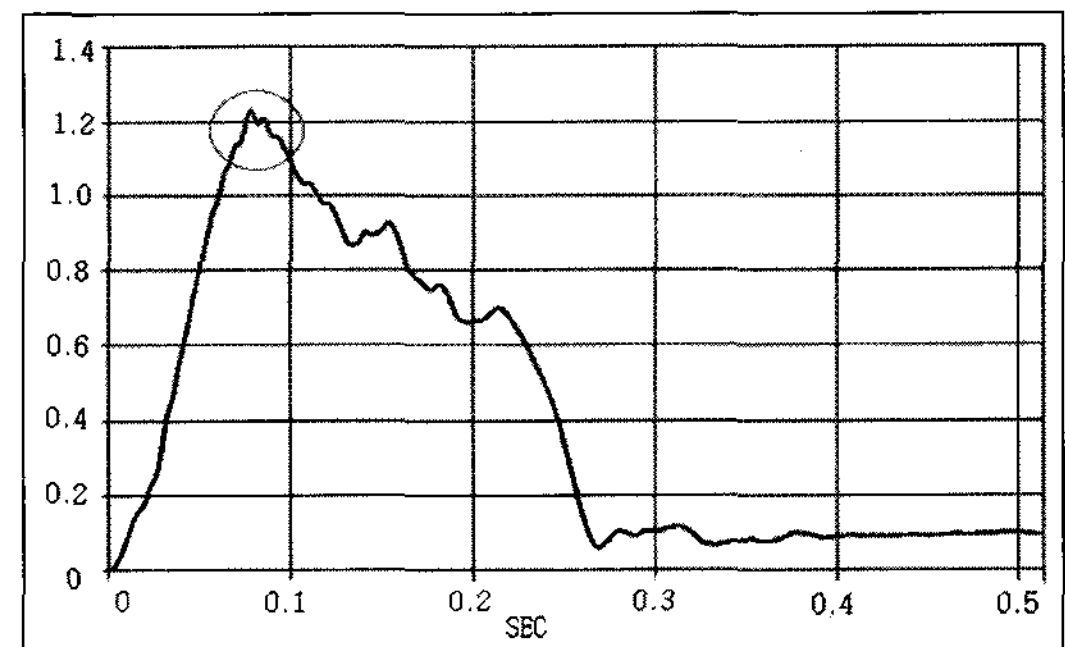


(b) ASI curve

Fig. 8 Results of crash test 2 of the crash cushion A

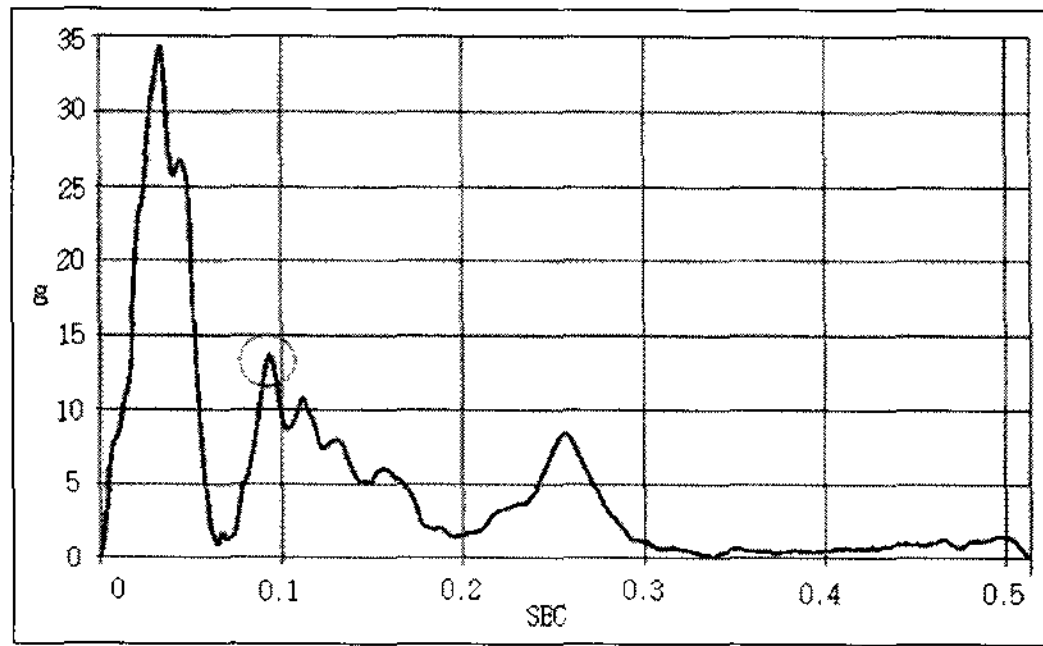


(a) PHD curve

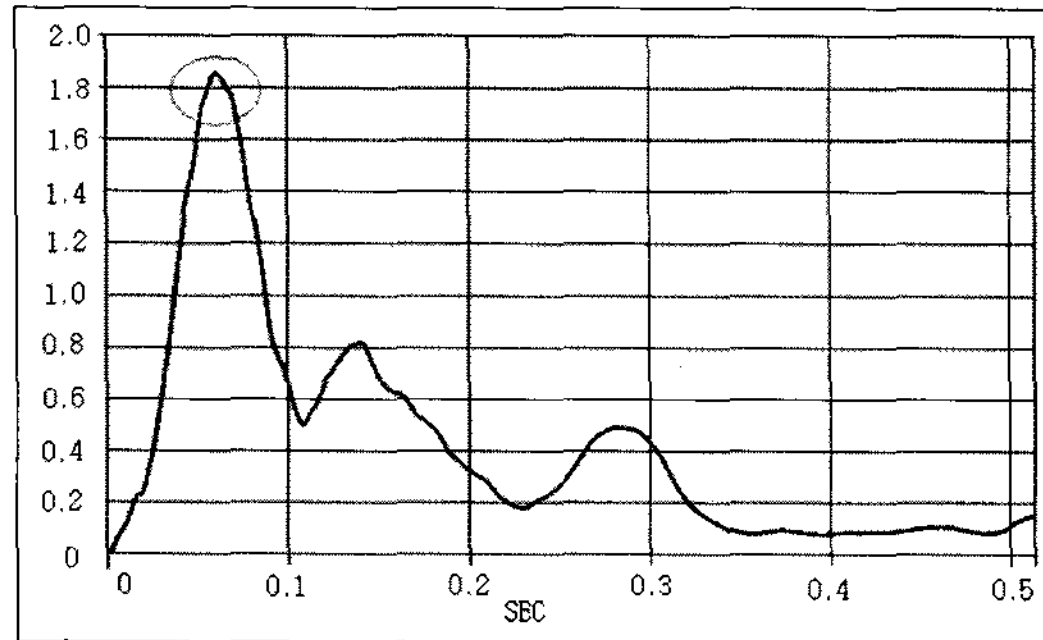


(b) ASI curve

Fig. 10 Results of crash test 2 of the crash cushion B

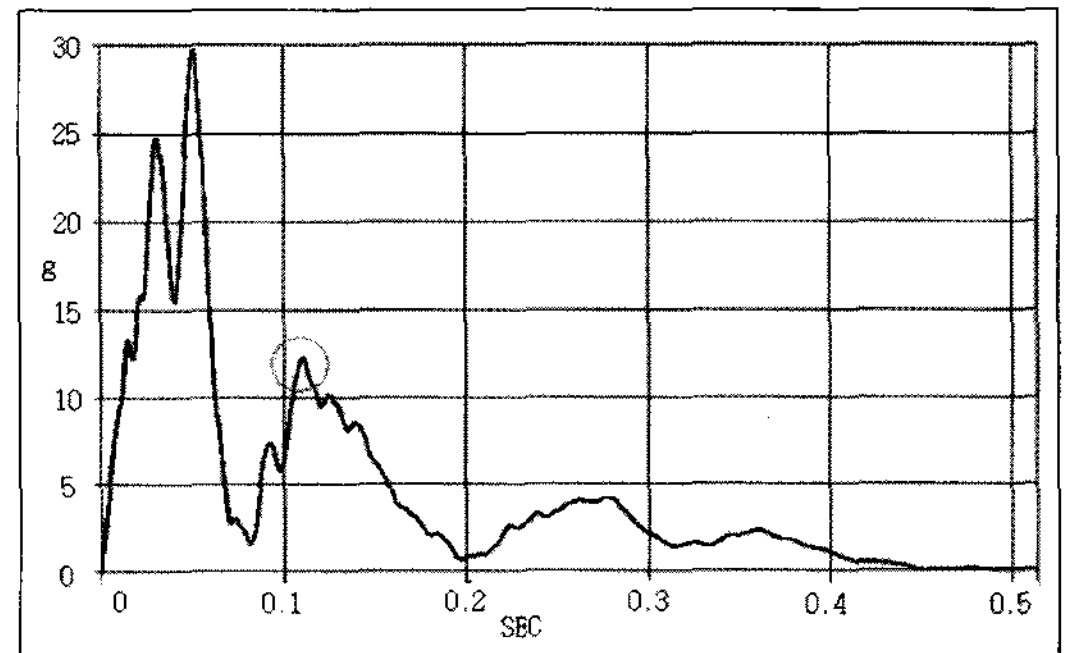


(a) PHD curve

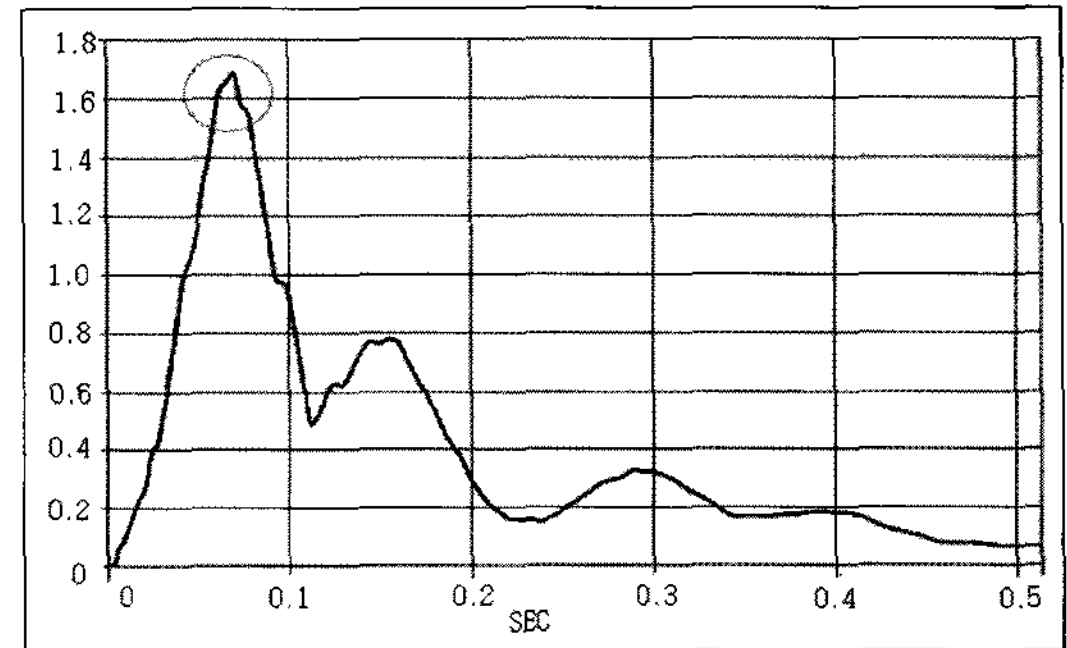


(b) ASI curve

Fig. 11 Results of crash test 1 (900kg) of the crash cushion C

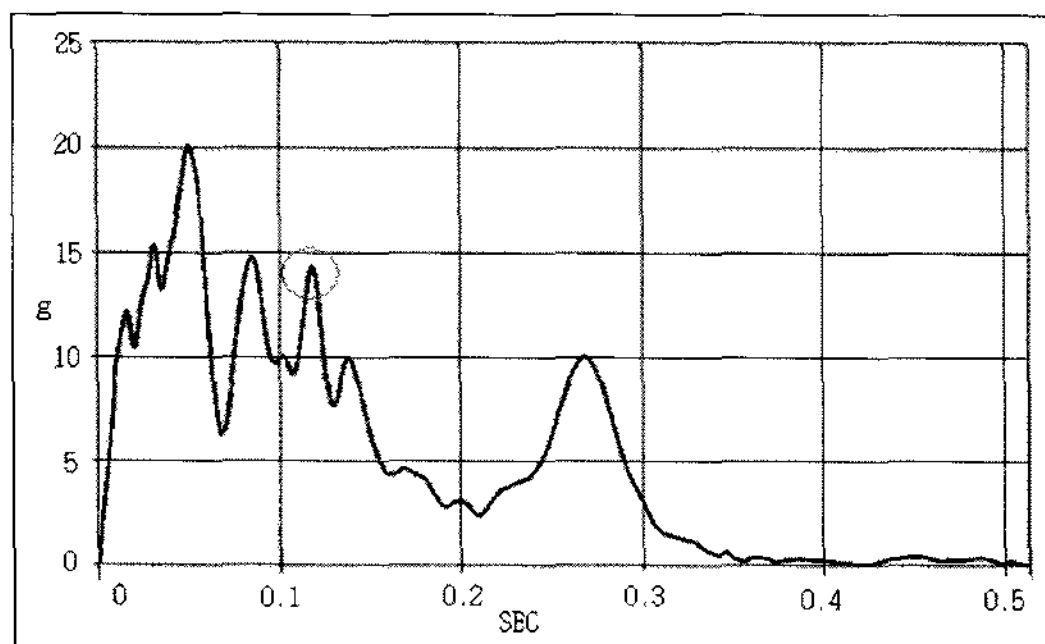


(a) PHD curve

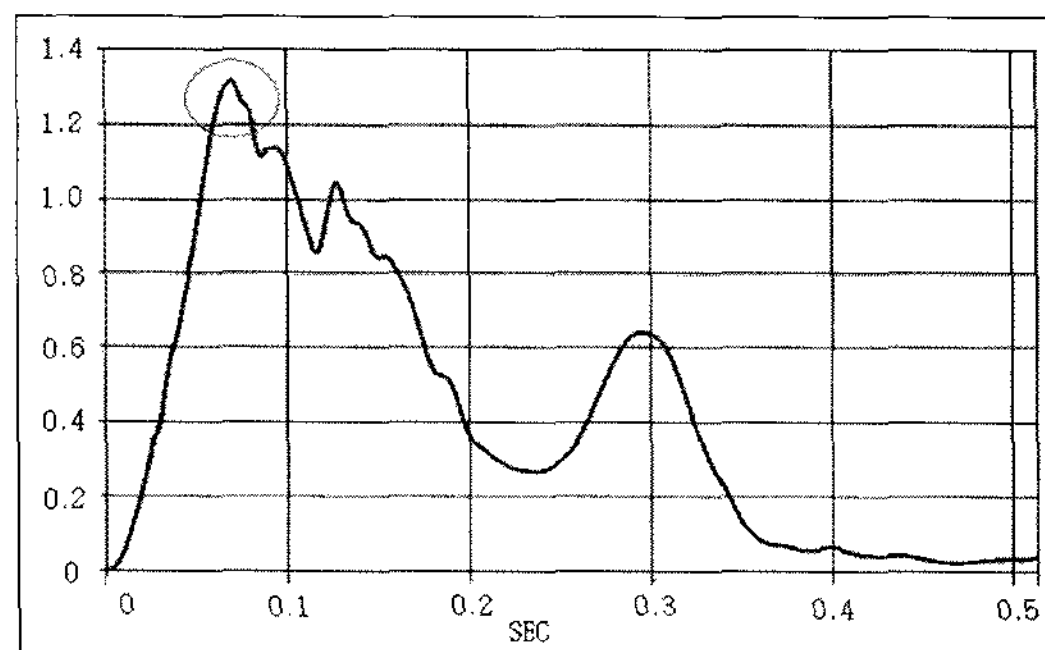


(b) ASI curve

Fig. 13 Results of crash test 2 of the crash cushion C



(a) PHD curve



(b) ASI curve

Fig. 12 Results of crash test 1 (1,300kg) of the crash cushion C

타낸 원은 PHD나 ASI 값이 산출된 구간을 나타낸 것이다.

PHD는 정의에 의해 THIV 값이 결정된 이후에 계산되는 값이기 때문에 초기에 나타나는 큰 피크에서 결정되는 것이 아니며 이 피크는 THIV 값의 크기에 영향을 미친다. PHD는 THIV 값이 결정된 시간 이후에 나타나는 피크 중에서 상대적으로 큰 값에 의해 결정된다.

ASI는 THIV와 유사하게 초기에 나타나는 큰 피크에 영향을 받으며 THIV와 비슷한 시간에 결정된다. Fig. 7에 나타낸 결과를 제외하고는 대부분 ASI 값이 결정된 이후에 PHD 값이 결정된 것을 알 수 있다.

차량이 충격흡수시설과 충돌했을 때 상해가능성은 가장 큰 피크에 의해 발생할 가능성이 높지만, Fig. 6~13에 나타낸 것과 같이 PHD가 산출되는 구간은 대부분의 경우에 가장 큰 피크가 아닌 곳에서 발생한다. PHD는 THIV나 ASI에 비해 탑승자의 상해가능성을 오인할 수 있는 여지를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 이에 비해 ASI는 항상 가장 큰 피크가 발생하는 부분에서 산출되므로 PHD보다 탑승자 보호

성능을 판단하는 기준으로서 적절하다고 생각된다.

향후 차량방호를 위한 도로안전시설 설치 및 관리 지침¹⁾을 개정하는 경우에는 ASI도 성능기준에 포함시킬 필요가 있으며 PHD는 참고값으로 구하는 것이 적절하다고 생각된다. 단, Table 5에 나타난 결과 외에도 대부분의 충격흡수시설 제품이 ASI를 기준으로 하는 경우에는 불합격 판정을 받을 가능성이 매우 높으므로 점진적으로 기준을 도입하는 것이 적절하다고 판단되며 국내업체들이 이에 대한 대비책을 강구할 수 있도록 유도할 필요성이 있다.

5. 결 론

도로상에 설치되는 충격흡수시설은 실물충돌시험을 거쳐 탑승자보호성능 등의 검증을 받아야 한다. 현재 탑승자보호성능은 탑승자 충돌속도인 THIV와 탑승자 가속도인 PHD에 의해 결정되고 있다. 실물충돌시험을 통해 성능이 검증된 제품에 대해 THIV, PHD 및 ASI 값을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정면충돌 또는 옆셋 정면충돌시에 3개 제품 모두 THIV가 한계값에 근접한 것을 알 수 있으며, 제품의 합격여부를 결정하는 중요한 지수이다.
- 2) PHD는 THIV가 계산된 이후의 시간에 나타나는 x와 y 방향의 가속도합의 10ms 평균값 중에서 최대값이므로, 탑승자의 상해 정도를 적절하게 나타내지 못할 가능성이 있는 것을 알 수 있다.
- 3) ASI는 가속도곡선에서 가장 큰 피크가 나타나는 곳에서 산출되므로 PHD보다 탑승자보호성능을 판단하는 적절한 기준이 될 수 있으며, 기존에 성능이 검증된 제품도 ASI로 탑승자보호성능을 판단하는 경우 한계값을 1.0 또는 1.4로 정하는 것에 따라 불합격 가능성이 높아지는 것을 알 수 있다.
- 4) 차량이 충격흡수시설과의 충돌이 발생했을 때 탑승자보호성능을 향상시키기 위해서는 ASI를 성능기준으로 도입하는 것이 적절하다고 판단되며 한계값을 얼마로 정하는 것이 적절한지에 대해서는 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

References

- 1) MOCT, Installation and Maintenance Guidelines

for Roadside Safety Appurtenance: Vehicle Restraint Systems, 2001.

- 2) H. E. Ross, D. L. Sicking, R. A. Zimmer and J. D. Michie, Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features, NCHRP Report 350, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1993.
- 3) European Committee for Standardization (CEN), Road Restraint Systems - Part 3: Performance Classes, Impact Test Acceptance Criteria and Test Methods for Crash Cushions, European Standard EN 1317-3, 2000.
- 4) D. Gabauer and H. C. Gabler, "Evaluation of the Acceleration Severity Index Threshold Values Utilizing Event Data Recorder Technology," Proceedings of 85th Annual Meeting, Transportation Research Board (TRB), Washington, D.C., 2004.
- 5) D. Gabauer and R. Thomson, "Correlation of Vehicle and Roadside Crash Test Injury Criteria," The 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety Vehicles (ESV), Washington, D.C., 2005.
- 6) C. Kammel, "Safety Barrier Performance Predicted by Multi-body Dynamics Simulation," Proceedings of the 2006 International Crashworthiness Conference, Athens Greece, 2006.
- 7) M. Shojaati, "Correlation between Injury Risk and Impact Severity Index ASI," Proceedings of the 3rd Swiss Transport Research Conference, Monte Verita/Ascona, March 19-21, 2003.
- 8) J. M. Lim, J. H. Song, J. S. Suk, C. H. Kim and G. H. Kim, "Consideration for the Vehicle Impact Test Results of Crash Cushions," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.1302-1307, 2003.

Appendix

차량이 구조물에 접하는 순간 차량은 병진(竝進)운동을 하기 때문에, 차량과 탑승자의 머리는 같은 평면상에서 일정속도 V_0 를 갖는다고 가정할 수 있으며, 충돌이 진행되는 동안 충돌 차량은 평면상에서만 운동한다고 가정한다.

THIV의 계산에는 Fig. A1과 같은 두 가지 좌표를

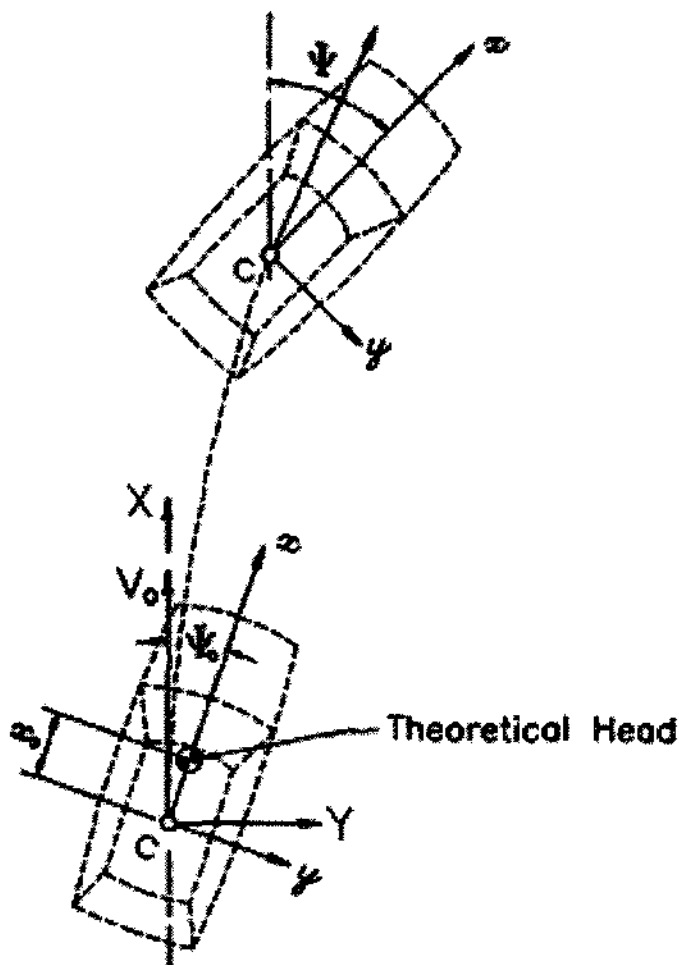


Fig. A1 Vehicle and ground reference frames

사용한다. Cxy는 차량 좌표계로 x는 종방향, y는 횡 방향을 나타낸다.

C는 차량 중심 부근점으로 두 개의 가속도계와 각속도계(yaw rate sensor)를 부착하여, \ddot{x}_c , \ddot{y}_c , $\dot{\psi}$ 를 계측한다. OXY는 지상 좌표계로, X축은 속도 V_0 와 동일한 방향이고, O는 C의 초기 위치와 일치한다.

$X_c(t)$ 와 $Y_c(t)$ 는 C의 지상 좌표이고, $X_b(t)$, $Y_b(t)$ 는 머리의 지상 좌표이다.

(1) 차량의 운동

시간 $t=0$ 에서의 초기 조건은 식 (A-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X_c &= 0, Y_c = 0, \psi = \psi_0 \\ \dot{X}_c &= V_0, \dot{Y}_c = 0, \dot{\psi} = 0 \end{aligned} \quad (A-1)$$

요각(Yaw angle) ψ 는 식 (A-2)와 같이 측정한 각 속도 $\dot{\psi}$ 를 적분하여 구한다.

$$\psi(t) = \int_0^t \dot{\psi} dt + \psi_0 \quad (A-2)$$

그 다음 ψ 를 이용하여 차량가속도 \ddot{x}_c , \ddot{y}_c 를 식 (A-3)과 같이 지상좌표계 XY의 가속도로 바꿀 수 있다.

$$\begin{aligned} \ddot{X}_c &= \ddot{x}_c \cos \psi - \ddot{y}_c \sin \psi \\ \ddot{Y}_c &= \ddot{x}_c \sin \psi + \ddot{y}_c \cos \psi \end{aligned} \quad (A-3)$$

시간 t 에서의 차량 속도와 위치는 식 (A-4)와 같이

적분으로 구한다.

$$\begin{aligned} \dot{X}_c &= \Delta \dot{X}_c + V_0, \Delta \dot{X}_c = \int_0^t \ddot{X}_c dt \\ \dot{Y}_c &= \Delta \dot{Y}_c, \Delta \dot{Y}_c = \int_0^t \ddot{Y}_c dt \\ X_c &= \int_0^t \Delta \dot{X}_c dt + V_0 t \\ Y_c &= \int_0^t \Delta \dot{Y}_c dt \end{aligned} \quad (A-4)$$

여기서 \dot{X}_c 와 \dot{Y}_c 는 차량의 속도이며 X_c 와 Y_c 는 차량의 위치이다.

(2) 지상좌표계에 대한 이론적인 머리의 운동

시간 $t=0$ 에서의 초기 조건은 식 (A-5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X_b &= x_b \cos \psi_0 = X_0 \\ Y_b &= x_b \sin \psi_0 = Y_0 \\ \dot{X}_b &= V_0, \dot{Y}_b = 0 \end{aligned} \quad (A-5)$$

머리가 등속운동을 계속한다면, 시간 t 에서 머리의 위치는 식 (A-6)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} X_b &= V_0 t + X_0 \\ Y_b &= Y_0 \end{aligned} \quad (A-6)$$

(3) 차량 좌표계에 대한 이론적인 머리의 운동

차량 좌표계에 대한 머리의 상대속도는 식 (A-7)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} v_x(t) &= -\Delta \dot{X}_c \cos \psi - \Delta \dot{Y}_c \sin \psi + y_b \dot{\psi} \\ v_y(t) &= \Delta \dot{X}_c \sin \psi - \Delta \dot{Y}_c \cos \psi - x_b \dot{\psi} \end{aligned} \quad (A-7)$$

차량 좌표계에 대한 머리의 위치 좌표는 식 (A-8)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_b(t) &= \Delta X_b \cos \psi + \Delta Y_b \sin \psi \\ y_b(t) &= -\Delta X_b \sin \psi + \Delta Y_b \cos \psi \end{aligned} \quad (A-8)$$

여기서, ΔX_b 와 ΔY_b 는 식 (A-9)와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta X_b &= X_0 - \int_0^t \Delta \dot{X}_c dt \\ \Delta Y_b &= Y_0 - \int_0^t \Delta \dot{Y}_c dt \end{aligned} \quad (A-9)$$