



# 탑승자 안전지수에 영향을 주는 데이터 처리과정과 수치절차

## Data Processing and Numerical Procedures Influencing on Occupant Risk Indices

김기동\*                      고만기\*\*                      남민균\*\*\*  
 Kim, Kee Dong              Ko, Man Gi                  Nam, Min Kyun

### Abstract

To verify the performance of roadside barriers, occupant risk indices are calculated from acceleration and angular velocity data of vehicle crash tests. The occupant risk indices to be computed include THIV(Theoretical Head Impact Velocity), PHD(Post-impact Head Deceleration), ASI(Acceleration Severity Index), OIV(Occupant Impact Velocity) and ORA(Occupant Ridedown Acceleration). There is a confusion due to different values of occupant risk indices produced for the same test data because various computational procedures and data processing methods can be applied to compute them. To solve this problem the effects of various numerical procedures and data processing methods on occupant risk indices were investigated. If the sampling rate specified in the guidelines is used for full-scale vehicle crash tests, an interpolation of impact time and numerical integration methods do not result in an appreciable change of THIV and OIV. The way to determine 10msec moving average for PHD and zero offset of data processing should be specified in the guidelines because 10msec moving average and zero offset methods have a significant influence on occupant risk indices.

**Keywords :** roadside safety system, occupant risk indices, THIV, PHD, OIV, ORA

### 요 지

차량방호 안전시설에 대한 성능의 검증은 충돌시험의 가속도와 각속도 데이터를 사용하여 산정한 탑승자 안전지수를 평가하여 이루어진다. 탑승자 안전지수로 THIV(Theoretical Head Impact Velocity), PHD(Post-impact Head Deceleration), ASI(Acceleration Severity Index), OIV(Occupant Impact Velocity)와 ORA(Occupant Ridedown Acceleration)가 있다. 탑승자 안전지수 계산에 상이한 데이터 처리과정과 수치절차의 적용이 가능하기 때문에 동일한 시험 데이터에 대하여 다양한 탑승자 안전지수값이 결정될 수 있어서 혼란이 초래되고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 상세절차와 데이터 처리과정이 탑승자 안전지수에 미치는 영향을 조사하였다. 지침에 제시된 계측시간간격을 사용하여 차량충돌시험이 수행된다면 보간법과 수치적분방법은 THIV와 OIV 값에 영향을 크게 미치지 않았다. 그리고 PHD에 대한 10msec 이동평균방법과 데이터 처리과정의 영점보정은 탑승자 안전지수에 상당한 영향을 미치지 않기 때문에 이에 관한 구체적인 방법이 지침에 규정되어야 한다.

**핵심용어 :** 도로안전시설, 탑승자안전지수, THIV, PHD, OIV, ORA

\* 비회원 · 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 교수  
 \*\* 정회원 · 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 교수  
 \*\*\* 비회원 · 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 석사



## 1. 서론

중앙분리대, 방호울타리, 충격흡수시설 등과 같은 차량방호 안전시설은 실험차량충돌시험을 통해 탑승자 보호성능, 시설의 거동, 충돌후 차량의 거동을 조사하여 성능평가가 이루어진다. 차량방호 안전시설의 거동과 충돌후 차량의 거동에 관한 평가는 주로 변위계측을 통하여 수행되고, 탑승자 위험도에 관한 평가는 차량 무게중심에서 계측된 가속도 및 각속도를 이용하여 결정된 탑승자 안전지수를 조사하여 이루어진다. 차량이 차량방호시설에 충돌할 때에 탑승자의 위험도를 평가하기 위하여 미국 NCHRP Report 350(National Cooperative Highway Research Program)에서는 OIV(Occupant Impact Velocity)와 ORA(Occupant Ridedown Acceleration)를 활용하고, 유럽표준위원회(CEN, European Committee for Standardization)의 EN-1317 기준은 THIV(Theoretical Head Impact Velocity)와 PHD(Post-impact Head Deceleration) 그리고 ASI(Acceleration Severity Index)를 사용한다. 일반적으로 NCHRP Report 350(Ross, 1993)의 안전지수나 EN-1317(CEN, 1998)의 안전지수가 세계 여러 나라의 탑승자 안전지수의 근간이 되어 사용되고 있으며, 우리나라의 “도로안전시설 설치 및 관리지침”(건설교통부, 2001a)은 EN-1317을 준용하여 THIV와 PHD를 탑승자 안전지수로 활용하고 있다.

탑승자 안전지수는 차량 무게중심에서 계측된 가속도와 각속도에 대하여 영점보정(zero offset)과 필터링(filtering)의 데이터 처리과정을 거친 후에 탑승자 안전지수 계산절차를 적용하여 결정된다. NCHRP 350과 EN-1317에서는 계측된 데이터에 대하여 영점보정을 시행하도록 하고 있으나 이에 대한 구체적인 방법을 제시하고 있지 않다.

NCHRP 350과 EN-1317의 탑승자 안전지수에 적용된 기본개념은 유사한 반면에 계산절차에 상이점이 있고 어떤 항목의 경우에는 구체적인 방법에

대한 설명이 생략되어 그 항목에 대하여 다양한 방법이 선택될 수 있다. PHD와 ORA의 계산에 활용되는 10msec 평균을 결정하기 위한 구체적인 방법이 명시되지 않아 다양한 이동평균(moving average) 방법이 적용될 수 있고, 탑승자 머리와 차량내부의 접촉시간을 결정하기 위한 명확한 절차가 제시되지 않아 다양한 접촉시간이 THIV와 OIV 계산에 적용될 수 있다. 또한 가속도와 각속도를 이용한 속도와 거리계산에 다양한 수치적분법이 사용될 수 있다.

위와 같이 탑승자 안전지수 계산에 상이한 데이터 처리과정과 수치절차의 적용이 가능하기 때문에 동일한 시험 데이터에 대하여 TRAP(TTI, 2002)과 DIADEM(National Instruments, 2005)등 세계적으로 많이 사용되고 있는 다양한 안전지수 평가 프로그램에 의해 결정된 탑승자 안전지수값이 다르게 나타나 실험차량충돌시험이 인증시험인 경우에 혼란이 초래되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 상세절차와 데이터 처리과정이 탑승자 안전지수에 미치는 영향을 조사하고 개선방향을 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

## 2. 탑승자 안전지수

도로안전시설의 안전도는 차량충돌시험 데이터를 이용하여, NCHRP Report 350과 EN-1317 기준에 따라 탑승자 안전지수를 계산하여 평가하게 된다. NCHRP Report 350은 종방향과 횡방향의 탑승자 충돌속도(OIV)와 탑승자가 차량의 내부에 충돌한 후 받게 되는 10msec 동안의 평균가속도중 최대치를 의미하는 탑승자 감가속도(ORA)를 규정하고 있다. OIV와 ORA의 세부사항은 “flail space” 모델을 사용하여 확정된 것으로 NCHRP Report 230(Michie, 1981)에서 처음 제시되었다. “flail space” 모델에서 탑승자는 하나의 물체로 이상화되고, 이상화된 탑승공간 내부를 이탈하지 않고 수평면



상에서 2차원운동을 하는 것으로 가정된다. 또한 탑승자는 차량이 충돌할 때 차량내부의 측면 또는 정면에 접촉할 때까지 자유로이 이동하고, 접촉 이후 충돌의 나머지 시간 동안 차량내부에 계속 접촉하고 있는 것으로 정의된다. 따라서 탑승자는 접촉이후 차량과 같은 가속도를 경험하게 되고, 이러한 가속도는 "ridedown" 가속도로 불린다. 차량내부와와의 접촉은 탑승자가 왼쪽 또는 오른쪽 측면(y축)으로 0.3m 이동하거나 정면(x축)으로 0.6m 이동할 때 일어난다.

탑승자와 차량내부의 첫 번째 접촉은 차량 x방향과 y방향의 가속도를 각각 두 번 적분하여 차량내부의 측면 0.3m 또는 정면 0.6m에 어느 쪽이든 먼저 도달할 때 발생하게 된다. 첫 번째 접촉시간에 계산된 x방향과 y방향의 탑승자 속도중에서 보다 큰 값이 탑승자 충돌속도(OIV)로 정의된다. 그리고 탑승자 감가속도(ORA)는 초기접촉 이후에 x방향과 y방향의 10ms동안의 평균가속도를 계산하여 두 값 중에서 큰 값으로 정의된다. NCHRP Report 350은 수치적분 방법으로 선형 가속도(linear acceleration) 혹은 평균가속도(average acceleration or trapezoidal rule) 방법을 사용하도록 권장하고 있다.

EN-1317에서는 3가지 탑승자 안전지수(THIV, PHD, ASI)를 사용하고 있는데 THIV는 탑승자와 차량내부의 초기접촉시간에 계산된 x방향과 y방향 OIV의 합속도와 같고, PHD는 초기접촉이후의 x방향과 y방향 ORA의 합가속도와 같다. THIV와 OIV, PHD와 ORA의 또 다른 두 가지 차이점은 다음과 같다. EN-1317의 계산절차는 차량의 yaw 운동을 고려하고 초기조건으로 탑승자 머리가 차량의 무게중심 앞에 위치하는 것을 허용하는 반면에, NCHRP Report 350은 차량의 yaw 운동을 고려하지 않고 탑승자 머리가 차량의 무게중심 위에 위치하는 것으로 가정한다.

ASI는 x, y 및 z방향 차량가속도의 50ms 이동평균가속도를 각 방향의 한계치로 정규화(normalize)하고 이의 합가속도를 결정한 후에 합가속도 중에서 최대값으로 정의된다.

### 3. 수치해석절차의 영향

10개의 실물 차량충돌시험 데이터를 사용하여 다양한 수치해석절차가 탑승자 안전지수에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 기존의 탑승자 안전지수 평가 프로그램이 다양한 수치절차를 포함하고 있지 않기 때문에 조사를 위하여 탑승자 안전지수 평가 프로그램 ORI(Occupant Risk Indices)을 개발하였다. ORI 프로그램에 사용된 다양한 수치절차에 대한 자세한 사항은 관련문헌(남민균, 2007)을 통해 살펴볼 수 있다. 본 연구에서 조사한 수치절차는 탑승자와 차량내부의 접촉시간을 결정하기 위하여 사용되는 보간법, PHD와 ORA 값 결정시 사용되는 10msec 이동평균에 대한 계산절차, 가속도 데이터를 사용하여 속도와 거리 데이터를 얻기 위한 수치적분법이다.

EN-1317과 NCHRP Report 350은 THIV와 OIV 값을 결정할 때에 탑승자와 차량내부의 접촉시간을 정확히 계산하는 절차를 제시하지 않고 있다. 따라서 계측시간간격  $\Delta t$ 가 아주 작다고 가정하여 일반적으로 보간법을 적용하지 않고, 정확한 접촉시간  $t_c$  바로 뒤의 시간  $t_{i+1}$ (그림 1)를 접촉시간으로 간주하는 경향이 있다.

본 연구에서는 그림 1에 보이는 것과 같이 보간법을 적용한 정확한 접촉시간  $t_c$ (Case A)와 보간법을 적용하지 않은 접촉시간  $t_{i+1}$ (Case B)에 대해 THIV와 OIV를 산정하여 결과를 비교하였다. 보간법을 적용하여 THIV를 계산하는 절차는 부록에 나타내었고 보다 자세한 사항은 관련문헌(남민균, 2007)에 나타나있다.

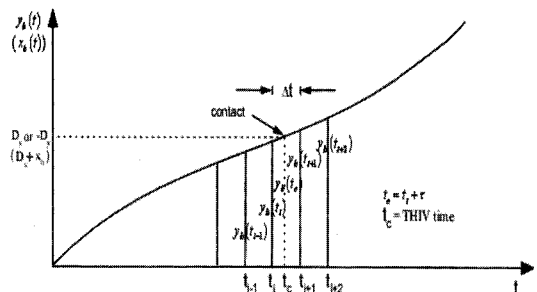


그림 1. 탑승자 머리가 차량내부에 접촉하는 이론적 시간

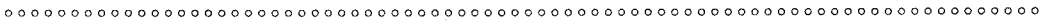


표 1에는 접촉시간  $t_c$ 와  $t_{i+1}$ 에 대해 결정된 THIV의 비교가 나타나 있다. 이 표로부터 보간법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 최대편차가 약 0.2%이고, T2 시험체를 제외하면 보간법을 적용하지 않은 경우가 보간법을 적용한 경우보다 THIV가 약간 크게 나타난다는 것을 알 수 있다. T2 시험체만 보간법을 적용한 접촉시간  $t_c$ 의 THIV 값이 보간법을 적용하지 않은 접촉시간  $t_{i+1}$  경우보다 크게 나타났다. 차량충돌시험 데이터의 계측시간간격  $\Delta t$ 가 0.0001초로 매우 작기 때문에 보간법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우와의 편차가 크지 않았다.

표 2에는 접촉시간  $t_c$ 와  $t_{i+1}$ 에 대해 결정된 OIV의 비교가 나타나 있다. 이 표로부터 보간법을 적용한 경우(Case A)와 적용하지 않은 경우(Case B) 중방향의 최대편차는 약 0.2%임을 알 수 있다. T7 시험체에 대한 횡방향 OIV의 최대편차는 약 3.1%이고, 나머지 시험체에 대해서는 횡방향 OIV의 최대편차가 약 0.2%이다. T7은 정면충돌시험 데이터이기 때문에, 횡방향 OIV 값이 매우 작다. 따라서 T7 시험체에 대한 횡방향 OIV 값의 작은 차이가 상대적으로 큰 편차를 발생시켰다고 판단된다. T9 이외의 시험체는 보간법을 적용한 접촉시간  $t_c$ 에서의 중방향 OIV가  $t_{i+1}$ 에서의 중방향 OIV보다 작게 나타났고, T8과 T10을 제외한 시험체의 경우  $t_c$ 일 때의 횡방향 OIV가  $t_{i+1}$ 에서의 횡방향 OIV보다 작게 나타났다.

10개의 차량 충돌시험 데이터의 계측시간간격이  $\Delta t=0.0001$ 초로 매우 작기 때문에 시간  $t_c$ 와  $t_{i+1}$ 에서 결정된 THIV와 OIV 값들의 차이가 아주 작게 나타났다. NCHRP Report 350과 우리나라의 “차량방호 안전시설 실무충돌시험 업무편람”(건설교통부, 2001b)에서는 계측시간간격에 대하여 0.000125초 이하를 제시하고, EN-1317기준에서는 0.0001초 이하를 권장하고 있다. 따라서 기준에 제시된 계측시간간격을 사용한다면 보간법은 THIV와 OIV 값의 변화에 영향을 크게 미치지 않을 것으로 판단된다.

EN-1317 기준과 NCHRP Report 350은 PHD와 ORA 값 결정에 사용되는 10ms의 이동평균가속도 계산절차를 상세하게 제시하지 않고 있다. 그러나 ASI 값 결정에 사용되는 50ms 이동평균가속도 계산에 사용되는 절차에 대해서는 다음 식(1)과 같이 제시하고 있다.

$$\langle {}^k \bar{a}_x \rangle = \frac{1}{m} \sum_{j=k}^{k+m} a_x ; \langle {}^k \bar{a}_y \rangle = \frac{1}{m} \sum_{j=k}^{k+m} a_y ; \langle {}^k \bar{a}_z \rangle = \frac{1}{m} \sum_{j=k}^{k+m} a_z \quad (1)$$

여기서,  $m=Integer(0.05/\Delta t)$ 이다. 식 (1)에서는  $m+1$ 개의 데이터 합을  $m$ 으로 나누어 평균을 구하고 있다. 식 (1)에  $\Delta t=0.0001$ 초를 적용한다면 501개의 데이터 합을 500으로 나누어 평균을 결정한다는 것을 의미한다.

이동평균을 구하는 다양한 방법중에서 탑승자 안전지수를 결정하는데 이용되는 가장 단순한 방법은 산술평균에 근거한 방법이다. 산술평균은  $n$ 개의 데이터 합을 데이터의 개수  $n$ 으로 나누어 이루어진다. 0.01sec(혹은 0.05sec)/ $\Delta t$ 가 정수라면 10ms(혹은 50ms) 동안의 데이터에 대한 산술평균은 2개의 방법으로 정의될 수 있다. 첫 번째 방법은 그림 2와 같이 데이터가  $\Delta t$ 구간의 단부에 놓인다고 가정하는 경우(Case 1)이다. 이 경우에  $n+1$ 개의 데이터 합을  $n+1$ 로 나누어 평균가속도가 결정된다. 여기서  $n=Integer(0.01/\Delta t)$ 이다. 두 번째 방법은 그림 3과 같이 데이터가  $\Delta t$ 구간의 내부에 놓인다고 가정하는 경우(Case 2)이다. 이 경우에  $n$ 개의 데이터 합을  $n$ 으로 나누어 평균가속도가 결정된다. 0.01sec(혹은 0.05sec)/ $\Delta t$ 가 정수가 아니라면 10ms(혹은 50ms) 동안의 데이터에 대한 산술평균을 나타내는 방법은 한 가지뿐이다. 이 경우에 0.01sec(혹은 0.05sec) 동안의 데이터 개수는  $\Delta t$ 구간의 데이터 위치에 상관없이  $n+1$ 개이다. 따라서 이 경우의 산술평균은  $n+1$ 개의 데이터 합을  $n+1$ 로 나누어 결정된다.



표 1. 보간법의 적용 여부에 따른 THIV 값의 변화

(단위 Km/h)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
$t_c$	27.7821 0.09717s	33.5582 0.09372s	30.4265 0.10631s	17.7437 0.14896s	25.2460 0.12441s	26.8995 0.13093s	38.2786 0.09929s	40.4480 0.10766s	28.1320 0.08593s	24.7419 0.09385s
$t_{i+1}$	27.7918 0.0972s	33.5279 0.0938s	30.4717 0.1064s	17.7512 0.1490s	25.3010 0.1245s	26.9220 0.1310s	38.2813 0.0993s	40.4594 0.1077s	28.1561 0.0860s	24.7492 0.0939s
차이(%)	0.035	-0.090	0.149	0.042	0.218	0.084	0.007	0.028	0.086	0.030

표 2. 보간법의 적용 여부에 따른 OIV 값의 변화

(단위 Km/h)

종방향	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
$t_c$	12.9792 0.09969s	18.1095 0.09678s	19.8478 0.10969s	9.67371 0.15369s	17.7896 0.12883s	21.8948 0.13531s	38.2453 0.09929s	40.4475 0.10767s	12.7445 0.08896s	9.67506 0.09892s
$t_{i+1}$	12.9792 0.0997s	18.1100 0.0968s	19.8488 0.1097s	9.67467 0.1537s	17.8040 0.1289s	21.9439 0.1354s	38.2506 0.0993s	40.4554 0.1077s	12.7425 0.0890s	9.67676 0.0990s
차이(%)	0.000	0.003	0.005	0.010	0.081	0.224	0.014	0.020	-0.016	0.018
횡방향	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
$t_c$	24.4808 0.09969s	28.3617 0.09678s	23.1889 0.10969s	15.6814 0.15369s	21.5586 0.12883s	20.2356 0.13531s	1.49767 0.09929s	0.34345 0.10767s	24.5655 0.08896s	21.3146 0.09892s
$t_{i+1}$	24.4816 0.0997s	28.3670 0.0968s	23.1897 0.1097s	15.6826 0.1537s	21.5985 0.1289s	20.2578 0.1354s	1.50546 0.0993s	0.34315 0.1077s	24.5659 0.0890s	21.3106 0.0990s
차이(%)	0.003	0.019	0.003	0.008	0.185	0.110	0.520	-0.088	0.002	-0.019

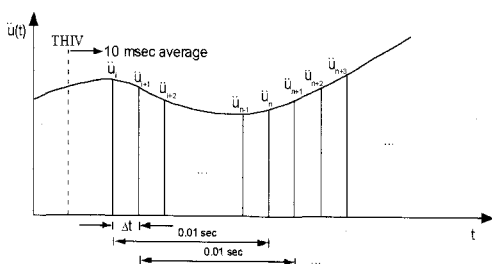


그림 2. 데이터가  $\Delta t$ =구간 단부에 있는 경우의 10msec의 평균

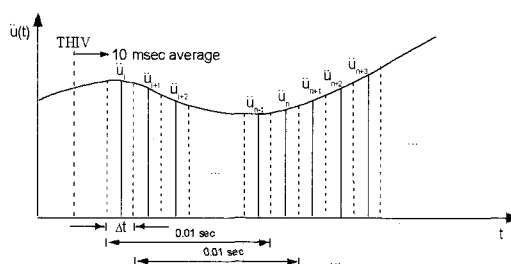


그림 3. 데이터가  $\Delta t$ =구간 내부에 있는 경우의 10msec의 평균

표 3에는  $\Delta t=0.0001$ 초인 10개의 차량충돌 시험데이터에 대하여 데이터가  $\Delta t$ 구간 단부에 있다고 가정한 Case 1과 데이터가  $\Delta t$ 구간 내부에 있다고

가정한 Case 2에 대해 결정된 PHD 값이 나타나있다. 이 표로부터 두 경우에 대한 PHD 값의 최대편차가 약 1%임을 알 수 있다. T1~T10 모든 시험체에 대하여 Case 2의 PHD 값이 Case 1 보다 크게



표 3. 평균가속도 계산방법에 따른 PHD 값의 변화

PHD(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Case 1	13.3396 0.1847s	9.04585 0.1645s	5.81071 0.1064s	9.04337 0.2227s	10.8349 0.1245s	14.9013 0.1310s	21.9399 0.1824s	11.5834 0.1146s	8.45953 0.1612s	7.84179 0.7916s
Case 2	13.3592 0.1847s	9.09998 0.1645s	5.83154 0.1064s	9.08825 0.2228s	10.9034 0.1245s	14.9736 0.1310s	21.9680 0.1824s	11.6038 0.1146s	8.47572 0.1613s	7.92272 0.7916s
차이(%)	0.147	0.598	0.358	0.496	0.632	0.485	0.128	0.176	0.191	1.032

표 4. 평균가속도 계산방법에 따른 ORA 값의 변화

ORA(g)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Case 1	2.835 0.1872s	2.787 0.1157s	3.199 0.1097s	3.862 0.1854s	7.934 0.1384s	11.11 0.1448s	21.93 0.1824s	11.58 0.1146s	6.029 0.7758s	7.836 0.7916s
Case 2	2.860 0.1872s	2.817 0.1156s	3.221 0.1097s	3.867 0.1855s	7.970 0.1384s	11.16 0.1450s	21.96 0.1824s	11.60 0.1146s	6.082 0.7759s	7.917 0.7916s
차이(%)	0.882	1.076	0.688	0.129	0.454	0.450	0.137	0.173	0.879	1.034

표 5. 평균가속도 계산방법에 따른 ASI 값의 변화

ASI	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Case 1 <sup>a</sup>	1.378 0.0376s	1.447 0.0357s	1.131 0.0367s	0.7327 0.1826s	0.9516 0.0692s	0.9970 0.1145s	1.158 0.0076s	1.073 0.0370s	1.408 0.0212s	1.365 0.0222s
Case 2 <sup>b</sup>	1.380 0.0376s	1.445 0.0358s	1.132 0.0368s	0.7326 0.1827s	0.9515 0.0694s	0.9971 0.1145s	1.158 0.0077s	1.074 0.0370s	1.410 0.0213s	1.370 0.0222s
Case 3 <sup>c</sup>	1.3812 0.0376s	1.4495 0.0358s	1.1335 0.0367s	0.7341 0.1826s	0.9536 0.0692s	0.9990 0.1146s	1.160 0.0076s	1.0755 0.0370s	1.411 0.0212s	1.3678 0.0222s
$\frac{b-a}{a} \times 100$	0.145	-0.138	0.088	-0.014	-0.011	0.010	0.000	0.093	0.142	0.366
$\frac{c-a}{a} \times 100$	0.232	0.173	0.221	0.191	0.210	0.201	0.173	0.233	0.213	0.205

표 6. 수치적분방법에 따른 THIV와 PHD 값의 변화

시 험	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	
3개의 수치적분법	THIV	27.78	33.56	30.43	17.74	25.25	26.90	38.28	40.45	28.13	24.74
	PHD	13.36	9.1	5.832	9.088	10.90	12.67	21.97	11.60	8.476	7.923

나타났다. 표 4에는 T1~T10 시험체에 대한 Case 1과 Case 2의 ORA값이 나타나있다. 이 표로부터 두 경우에 대한 종방향 ORA의 최대편차는 1.1%로

나타났다. 표 5에는 Case 1과 Case 2의 ASI 값이 나타나있다. 또한 이 표에는  $m+1$ 개의 데이터 합을  $m$ 으로 나누어 결정된(Case 3) ASI 값도 포함되어



있다. T1~T10 시험체에 대하여 Z방향 가속도가 계측되지 않았기 때문에 Z방향 가속도를 0으로 가정하여 ASI 값이 산정되었다. 이 표로부터 Case 1과 Case 2의 ASI 값 차이는 최대 0.37%이고 Case 1과 Case 3의 차이는 최대 0.23%로 나타나 PHD와 ORA의 경우보다 평균방법이 ASI 값의 변화에 미치는 영향이 작다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 평균을 구하는 시간범위가 증가할 경우 평균을 구하는데 사용되는 제수(divisor)가 증가하기 때문에 상이한 산술평균에 따른 편차가 감소한다고 판단된다.

평균방법에 따른 PHD 값의 차이가 최대 1%로 나타나 수치상으로는 평균방법이 PHD 값에 크게 영향을 미치지 않았으나, 이러한 차이가 도로안전시설에 대한 인증시험에서 발생한다면 인증여부를 결정하는데 혼란이 초래될 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 10ms 가속도평균을 결정하기 위한 구체적인 방법이 지침에 규정되어야 한다고 판단된다. 0.01초 동안의 시간간격수( $0.01\text{sec}/\Delta t$ )가 정수인지 여부에 상관없이 사용될 수 있는 데이터 수  $n + 1$ 을 적용하는 산술평균방법(Case 1)이 보다 나은 대안이 없는 상황에서는 10ms 가속도평균을 결정하는 방법으로 유용하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

EN-1317 기준의 탑승자 안전지수(THIV, PHD, ASI, OIV, ORA) 계산절차는 수치적분방법으로 평균가속도방법(Average Acceleration)을 적용하였다. 이 방법은 Trapezoidal rule 혹은 Newmark  $\beta$  ( $\beta=1/4$ ) 방법으로 언급되기도 한다. NCHRP Report 350은 가속도 데이터를 적분하는 방법으로 선형가속도방법 또는 Trapezoidal rule을 권장하고 있다. 선형가속도방법은 Newmark  $\beta$  ( $\beta=1/6$ ) 방법으로 불리기도 한다.

본 연구에서는 THIV와 PHD 계산절차에 평균가속도방법, 선형가속도방법, 그리고 Central Difference 방법과 같은 3개의 수치적분방법을 사용하여, 수치적분방법이 탑승자 안전지수(THIV, PHD)에 미치는 영향을 조사하였다. 표 6에는 3개

의 수치적분방법을 적용하여 결정된 THIV와 PHD의 비교가 나타나 있다. 이 표로부터 적용된 수치적분법에 상관없이 안전지수값이 일치 한다는 것을 알 수 있다. 데이터의 계측시간간격이 0.0001초로 충분히 작기 때문에 수치적분법에 상관없이 일정한 결과가 나타났고, 지침에 제시된 계측시간간격이 사용된다면 수치적분방법은 THIV와 PHD 값의 변화에 거의 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

#### 4. 영점보정(Zero Offset)의 영향

NCHRP Report 350과 EN-1317은 차량충돌시험의 계측과 데이터 처리를 각각 SAE J211(SAE, 2003)과 ISO 6487(ISO, 2000)의 규정에 따라 수행하도록 하고 있다. 우리나라는 이에 관한 사항을 SAE J211에 근거한 “차량방호 안전시설 실험충돌시험 업무편람”에서 규정하고 있다. SAE J211과 ISO 6487에서는 계측된 데이터에 대하여 영점보정을 시행하도록 하고 있으나 이에 대한 구체적인 방법을 제시하고 있지 않다.

차량충돌시험 데이터의 영점보정은 구체적인 방법이 제시되어 있지 않기 때문에 차량과 방호시설이 충돌하기 바로 직전 임의의 일정시간동안의 데이터 평균값을 활용하여 수행되는 것이 일반적인 관행이다. 따라서 인증시험기관에 따라 상이한 충돌직전 데이터 수를 사용하여 영점보정을 수행하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 데이터 평균시간구간을 변화시키며 각 시간구간의 데이터를 선형회귀식으로 나타내어 기울기의 변화를 검토하고 데이터의 안정성을 조사하였다. 또한 충돌직전 데이터 수를 변화시키며 영점보정의 변화가 안전지수값에 미치는 영향을 조사하였다.

그림 4에는 T1 충돌시험의 X축 가속도 데이터에 대해 데이터 평균시간구간 0.1초를 사용하여 영점보정한 결과가 나타나 있다. 표 7에는 4개 충돌시험의

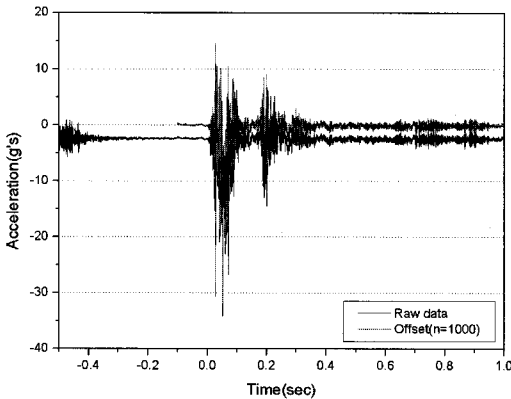


그림 4. 영점보정에 따른 X방향 가속도의 변화 (T1 시험)

표 7. 충돌직전 시간구간에 따른 데이터의 안정성

X 가속도	선형회귀식의 기울기					
	0.005초	0.01초	0.02초	0.05초	0.1초	0.2초
T1	-0.003160	-0.001950	0.001350	0.000129	0.000150	0.000001
T3	-0.000631	-0.000064	0.000264	0.000172	0.000050	-0.000010
T8	-0.001560	-0.000772	0.000215	-0.000219	0.000033	-0.000001
T10	0.000909	0.001350	-0.000016	-0.000378	-0.000024	-0.000002

X축 가속도에 대하여 충돌직전 데이터 수를 증가시키며 충돌직전 데이터를 선형 회귀식으로 표현한 결과가 나타나있다. 표 7로부터 일반적으로 데이터 평균시간구간이 증가할 때 기울기가 점진적으로 줄어들어 수평에 가까워진다는 것을 알 수 있다. 작은 데이터 평균시간구간(0.02초)에 대한 선형회귀식의 기울기가 큰 시간구간(0.05초)에 대한 기울기보다 작게 나타난 경우도 발생하였다. 그 이유는 노면조도의 변화 때문으로 판단되고 이러한 노면조도의 변화가 기울기에 미치는 영향은 데이터 평균시간구간이 증가할수록 그 영향이 상쇄되어 가장 큰 시간구간(0.2초)의 데이터에 대한 선형회귀식의 기울기가  $20^{-5} \sim 10^{-6}$  정도로 가장 작게 나타났다. 따라서 영점보정에 사용되는 충돌직전 데이터의 안정성을 확보하기 위해서는 노면조도가 미치는 영향을 가능한 감소시키도록 가능한 큰 데이터 평균시간구간이 사용되어야 한다고 판단된다.

그림 5와 6에는 영점보정에 따른 THIV와 PHD의

변화가 나타나있다. 영점보정의 차이는 영점보정에 사용되는 충돌직전 데이터수( $n$ )의 차이를 뜻한다. 충돌직전 데이터 평균시간구간 0.1초( $n=1000$ )를 사용하여 결정된 안전지수값과 비교할때, 시간구간 0.05초( $n=500$ )와 0.2초( $n=2000$ )에 대한 THIV와 PHD는 모든 시험에 있어서 최대 약 1.3%의 차이를 보였다. 그러나 시간구간 0.002초( $n=20$ )~0.01초( $n=100$ )에 대한 THIV와 PHD는 T5 시험의 경우에 각각 최대 약 8%와 16%의 편차를 보였다. T5를 제외한 시험의 경우에는 THIV와 PHD가 각각 최대 약 2%와 3%의 차이를 보였다. 일반적으로 영점보정에 사용되는 데이터 수( $n$ )가 작은 경우에는 영점보정에 따라 안전지수값이 상당히 변화하였고 데이터 수  $n=500$ (데이터 평균시간

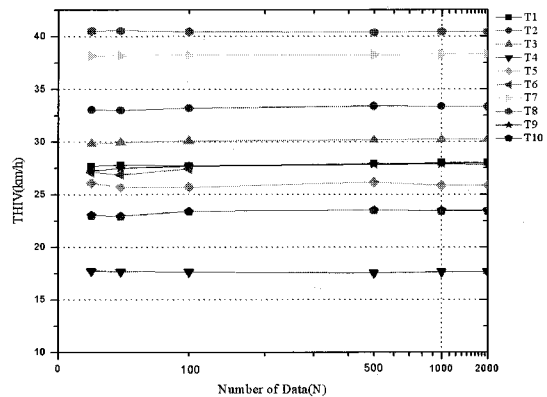


그림 5. 영점보정에 따른 THIV의 변화

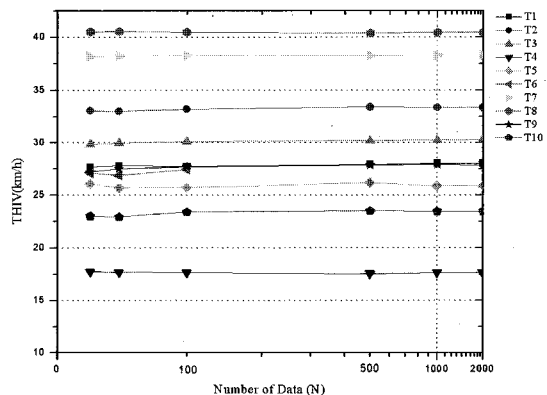


그림 6. 영점보정에 따른 PHD의 변화





구간=0.05초) 이후부터는 THIV와 PHD값의 변화가 작다는 것을 알 수 있었다.

결론적으로 영점보정에 사용되는 충돌직전 데이터의 시간구간은 노면조도의 영향이 가능한 배제되도록 가능한 증가시키는 것이 충돌직전 데이터의 안정성을 확보하는데 적절하였고 충돌직전 데이터 평균 시간구간에 따른 영점보정의 차이가 THIV와 PHD 값에 상당한 영향을 주었다. 따라서 영점보정 방법에 따라 안전지수값이 다르게 나타나는 혼란을 해결하기 위해서는 영점보정에 대한 명확한 절차가 지침에 규정되어야 한다고 판단된다.

## 5. 탑승자 안전지수의 상관관계

국내지침에 탑승자 안전지수로 규정되어있는 THIV와 PHD를 NCHRP Report 350의 OIV와 ORA에 각각 비교하여 상관관계를 살펴보고 국내의 탑승자 안전지수 평가기준에 대한 개선점을 조사하였다. 표 8은 ORI 프로그램으로 산정한 탑승자 안전지수 THIV, PHD, OIV, ORA의 결과를 나타낸 것이다. 충격흡수시설에 대한 정면충돌(T7, T8)의 경우 THIV와 OIV 그리고 PHD와 ORA의 결과는 매우 유사하게 나타났고, 측면충돌시험의 경우에는

THIV와 PHD 값이 OIV와 ORA 값보다 각각 크게 나타났다. 그림 7과 8에는 THIV와 OIV의 상관관계 그리고 PHD와 ORA의 상관관계가 각각 나타나 있다. 이들 그림으로부터 THIV와 OIV 그리고 PHD와 ORA의 선형관계가 상당히 뚜렷하다는 것을 알 수 있다. THIV와 OIV의 관계 그리고 PHD와 ORA의 관계를 선형회귀식으로 나타낸 결과의 신뢰도를 살펴보면 THIV와 OIV의 경우에는 상관계수  $R=0.962$ 이고 PHD와 ORA의 경우에는  $R=0.957$ 이다. 이로부터 국내와 미국지침의 탑승자 안전지수의 상관도가 매우 높다는 것을 알 수 있다.

그림 7과 8로부터 OIV 평가기준은 모든 시험이 만족한 반면에 THIV 평가기준(33km/h)에 대해서

표 8. THIV와 OIV 그리고 PHD와 ORA의 비교

	THIV (km/h)	PHD (g)	OIV (km/h)		ORA (g)	
			종방향	횡방향	종방향	횡방향
T1	27.7821	13.36	12.9792	24.4808	2.860	13.21
T2	33.5582	9.10	18.1095	28.3617	2.817	9.047
T3	30.4265	5.832	19.8478	23.1889	3.221	5.548
T4	17.7437	9.088	9.67371	15.6814	3.867	8.300
T5	25.2460	10.90	17.7896	21.5586	7.970	8.197
T6	26.8995	14.97	21.8948	20.2356	11.16	8.455
T7	38.2786	21.97	38.2453	1.49767	21.96	2.230
T8	40.4480	11.60	40.4475	0.343453	11.60	1.868
T9	28.1320	8.476	12.7445	24.5655	6.082	8.453
T10	24.7419	7.923	9.67506	21.3146	7.917	6.269

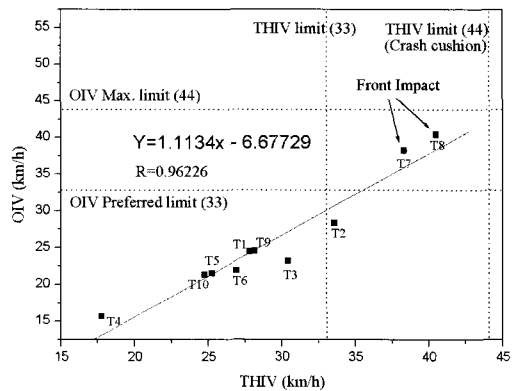


그림 7. THIV와 OIV의 상관관계

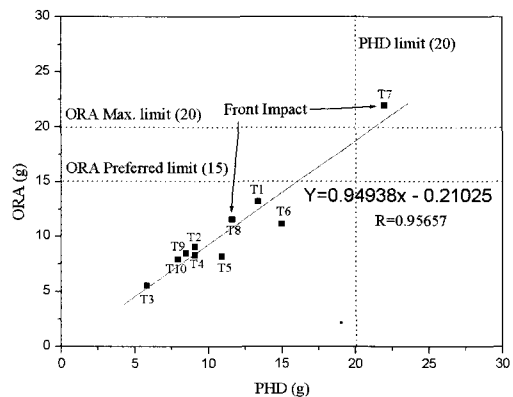


그림 8. PHD와 ORA의 상관관계



는 T2 시험이 만족하지 못하였다는 것을 알 수 있다. 그리고 T7 시험은 PHD와 ORA 평가기준을 모두 만족하지 못하였다. 이로부터 국내지침의 탑승자 안전지수에 대한 평가기준이 미국의 평가기준에 비하여 보다 엄격하다는 것을 알 수 있다. 이에 대한 주요 원인은 OIV와 ORA는 한방향 속도나 가속도에 대한 최대값으로 정의되고 THIV와 PHD는 합속도와 합가속도의 최대값으로 정의되는 반면에 평가기준의 한계값은 OIV와 THIV 그리고 ORA와 PHD에 각각 같은 값이 사용되기 때문으로 판단된다. 따라서 국내지침의 THIV와 PHD에 대한 평가기준이 합속도와 합가속도에 상응하도록 상향조정된다면 차량방호시설물에 대하여 국내와 미국지침의 평가기준을 동시에 적용할 경우에도 유사한 결과가 도출될 것으로 판단된다.

그림 7과 8에 보이는 것처럼 THIV와 PHD에 대해서는 1개의 한계값이 각각 적용되는 반면에 OIV와 ORA에 대해서는 두개의 한계값(권장값과 최대값) 각각 적용되고 있다. 표 9에는 두개의 종방향 베리어(System A 와 B)에 대한 가상의 THIV와 OIV값이 나타나 있다. OIV값은 임의로 가정한 THIV값에 대하여 그림 7의 선형회귀식을 적용하여 결정된 값이다. 이 표로부터 System A 와 B 시설물이 국내에서는 사용이 불가능한 반면에 미국에서는 모두 사용 가능하다는 것을 알 수 있다. Sytem A의 경우 THIV는 평가기준을 약간 초과하였고 OIV는 권장한계값 33km/h보다 작게 나타났다. 그리고 Sytem B의 경우, OIV값이 OIV 권장한계값 33km/h를 초과하였으나 최대한계값 44 km/h 보다 작게 나타났고 THIV 값은 40km/h로 한계값 33km/h 보다 상당히 크게 나타났다. 따라서 미국에서는 사용자가 Sytem A와 B를 성능수준에 적합한 장소에 설치하여 사용할 수 있는 반면에 국내에는 이 시설물들의 사용이 배제된다. 이와 같은 국내지침 평가기준의 불합리한 면을 보완하기 위해서는 미국의 경우와 마찬가지로 성능수준에 맞추어 시설물을 사용할 수 있도록 THIV와 PHD에 대하여 2개의 한계

값을 규정할 필요가 있다고 판단된다.

표 10에는 10개의 실물 차량충돌시험 데이터에 대하여 결정된 탑승자 안전지수의 평가결과가 나타나 있다. 국내 평가기준을 적용한 경우에는 T2와 T7 2개 시험이 기준을 만족하지 못하였고, 유럽 평가기준에 대해서는 T4, T5, T6 3개 시험만이 Level A 기준을 만족하였고 Level B 기준은 T2, T7, T9을 제외한 7개 시험이 만족하였다. 그리고 미국의 평가기준을 적용한 경우에는 T7 시험만이 기준을 만족하지 못하였다. 결론적으로 ASI를 사용하는 유럽 CEN 기준이 탑승자 안전성 평가에 가장 엄격하고 미국기준이 가장 유연하다는 것을 알 수 있다.

표 9. THIV와 OIV 값의 비교

	THIV	OIV(선형회귀식에 근거)
System A	34	31.2
System B	40	37.9

표 10. 탑승자 안전성 평가결과 비교

차량충돌시험	평가기준											
	유럽기준						미국기준					
	국내기준				ASI		OIV		ORA			
	THIV		PHD		Level A		Level B		44Km/h		20g	
	33Km/h 이하	44Km/h 이하	20g 이하	이하	1.0 이하	1.4 이하	이하	이하	이하	이하		
T1	27.78	O	13.36	O	1.38	X	O	24.48	O	13.21	O	
T2	33.56	X	9.10	O	1.45	X	X	28.36	O	9.05	O	
T3	30.43	O	5.83	O	1.13	X	O	23.19	O	5.55	O	
T4	17.74	O	9.09	O	0.73	O	O	15.68	O	8.30	O	
T5	25.25	O	10.90	O	0.95	O	O	21.56	O	8.20	O	
T6	26.90	O	14.97	O	0.997	O	O	21.89	O	11.16	O	
T7	38.28	O	21.97	X	1.16	X	O	38.25	O	21.96	X	
T8	40.45	O	11.60	O	1.07	X	O	40.45	O	11.60	O	
T9	28.13	O	8.48	O	1.41	X	X	24.57	O	8.45	O	
T10	24.74	O	7.92	O	1.37	X	O	21.31	O	7.92	O	

(a: 방호울타리, b: 충격흡수시설, O: 기준만족, X: 기준 불만족)



## 6. 결론

탑승자 안전지수 계산에 상이한 데이터 처리과정과 수치절차의 적용이 가능하기 때문에 동일한 시험 데이터에 대하여 다양한 안전지수 평가 프로그램에 의해 결정된 탑승자 안전지수값이 다르게 나타나 실물 차량충돌시험이 인증시험인 경우에 혼란이 초래되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 상세절차와 데이터 처리과정이 탑승자 안전지수에 미치는 영향을 조사하고 개선방향을 제시하는데 본 연구의 목적이 있다. 본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 평균방법에 따른 PHD 값의 차이가 최대 1%로 나타나 수치상으로는 평균방법이 PHD 값에 크게 영향을 미치지 않았으나, 이러한 차이가 도로안전시설에 대한 인증시험에서 발생한다면 인증여부를 결정하는데 혼란이 초래될 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 10ms 가속도평균을 결정하기 위한 구체적인 방법이 지침에 규정되어야 한다고 판단된다.
2. 지침에 제시된 계측시간간격을 사용하여 차량충돌시험이 수행된다면 보간법과 수치적분방법은 THIV와 OIV 값의 변화에 영향을 크게 미치지 않을 것으로 판단된다.
3. 충돌직전 데이터 평균시간구간에 따른 영점보정의 차이가 THIV와 PHD 값에 상당한 영향을 주었다. 따라서 영점보정방법에 따라 안전지수값이 다르게 나타나는 혼란을 해결하기 위해서는 영점보정에 대한 명확한 절차가 지침에 규정되어야 한다고 판단된다.
4. 탑승자 안전성 평가기준은 ASI를 사용하는 유럽 CEN 기준이 가장 엄격하고 미국기준이 가장 유연하였다.
5. 사용자가 필요한 성능수준에 맞추어 시설물 선택을 합리적으로 할 수 있도록 국내기준도 미국처럼 THIV와 PHD에 대하여 2개의 한계값(권장값과 최대값)을 규정할 필요가 있다.

## 부록 <THIV와 PHD 계산절차>

- 절차 1 : 계측된 요각속도  $\dot{\psi}(t)$ 를 적분하여 요각도  $\psi(t)$ 를 얻는다.

$$\psi(t_{i+1}) = \psi(t_i) + \frac{\dot{\psi}(t_i) + \dot{\psi}(t_{i+1})}{2} \cdot \Delta t$$

- 절차 2 : 지상 좌표계 XY에 대한 차량가속도를 구한다.

$$\ddot{X}_c(t_i) = \ddot{x}_c(t_i) = \cos(\psi(t_i)) \cdot \ddot{y}_c(t_i) - \dot{y}_c(t_i) \cdot \dot{\psi}(t_i)$$

$$\ddot{Y}_c(t_i) = \ddot{y}_c(t_i) = \sin(\psi(t_i)) \cdot \ddot{y}_c(t_i) + \dot{y}_c(t_i) \cdot \dot{\psi}(t_i)$$

- 절차 3 : 지상 좌표계에 대한 차량가속도를 적분한다.

- 지상 좌표계에 대한 차량의 속도

$$\Delta \dot{X}_c(t_i) = 0, \quad \Delta \dot{Y}_c(t_i) = 0$$

$$\Delta \dot{X}_c(t_{i+1}) = \Delta \dot{X}_c(t_i) + \frac{\ddot{X}_c(t_i) + \ddot{X}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \Delta t$$

$$\Delta \dot{Y}_c(t_{i+1}) = \Delta \dot{Y}_c(t_i) + \frac{\ddot{Y}_c(t_i) + \ddot{Y}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \Delta t$$

- 지상 좌표계에 대한 탑승자 머리의 상대 위치

$$\Delta X_b(t_i) = X_0, \quad \Delta Y_b(t_i) = Y_0$$

$$\Delta X_b(t_{i+1}) = \Delta X_b(t_i) - \frac{\dot{X}_c(t_i) + \dot{X}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \Delta t$$

$$\Delta Y_b(t_{i+1}) = \Delta Y_b(t_i) - \frac{\dot{Y}_c(t_i) + \dot{Y}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \Delta t$$

- 절차 4 : 차량 좌표계에 대한 탑승자 머리의 상대위치와 상대속도를 구한다.

$$x_b(t_{i+1}) = \Delta X_b(t_{i+1}) \cdot \cos(\psi(t_{i+1})) + \Delta Y_b(t_{i+1}) \cdot \sin(\psi(t_{i+1}))$$

$$y_b(t_{i+1}) = -\Delta X_b(t_{i+1}) \cdot \sin(\psi(t_{i+1})) + \Delta Y_b(t_{i+1}) \cdot \cos(\psi(t_{i+1}))$$

$$v_x(t_{i+1}) = -\Delta \dot{X}_c(t_{i+1}) \cdot \cos(\psi(t_{i+1})) + \Delta \dot{Y}_c(t_{i+1}) \cdot \sin(\psi(t_{i+1})) + y_b(t_{i+1}) \cdot \dot{\psi}(t_{i+1})$$

$$v_y(t_{i+1}) = -\Delta \dot{X}_c(t_{i+1}) \cdot \sin(\psi(t_{i+1})) - \Delta \dot{Y}_c(t_{i+1}) \cdot \cos(\psi(t_{i+1})) + x_b(t_{i+1}) \cdot \dot{\psi}(t_{i+1})$$

- 절차 5 : 아래 세 식을 만족시키는  $t_{i+1}$  중 최소값을 구한다.

$$x_b(t_{i+1}) \geq D_x + x_b(0) \text{ 또는 } y_b(t_{i+1}) \geq D_y \text{ 또는 } y_b(t_{i+1}) \leq -D_y$$

- 절차 6 : 절차 5를 만족시키는 최소  $t_{i+1}$  값을 낳는 항목에 대하여 상응하는 아래 식에 대하여 반복과정을 적용하여 탑승자 머리와 차량 내부와의 접촉시의 정확한 시간,  $t_c = t_i + \tau$  을 결정한다. 아래 식이 비선형식이기 때문에  $\tau$  을 결정



하기 위하여 반복과정이 필요하다.

$$D_x + x_b(0) = \Delta X_b(t_i) \cdot \cos(\psi(t_i + \tau)) - \frac{\Delta \dot{X}_c(t_i) + \Delta \dot{X}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \cos(\psi(t_i + \tau)) \cdot \tau + \Delta Y_b(t_i) \cdot \sin(\psi(t_i + \tau)) - \frac{\Delta \dot{Y}_c(t_i) + \Delta \dot{Y}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \sin(\psi(t_i + \tau)) \cdot \tau = x_b(t_c)$$

$$D_y \text{ or } -D_y = \Delta X_b(t_i) \cdot \sin(\psi(t_i + \tau)) - \frac{\Delta \dot{X}_c(t_i) + \Delta \dot{X}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \sin(\psi(t_i + \tau)) \cdot \tau + \Delta Y_b(t_i) \cdot \cos(\psi(t_i + \tau)) - \frac{\Delta \dot{Y}_c(t_i) + \Delta \dot{Y}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \cos(\psi(t_i + \tau)) \cdot \tau = y_b(t_c)$$

여기서,  $\psi(t_i + \tau) = \psi(t_i) + \frac{\dot{\psi}(t_i) + \dot{\psi}(t_{i+1})}{2} \cdot \tau$

- 절차 7:  $t_c = t_i + \tau$  에서 차량 좌표계에 대한 탑승자 머리의 상대속도를 구한다.

$$v_x(t_c) = -\Delta \dot{X}_c(t_c) \cdot \cos(\psi(t_c)) - \Delta \dot{Y}_c(t_c) \cdot \sin(\psi(t_c)) + y_b(t_c) \cdot \dot{\psi}(t_c) \quad t_c = t_i + \tau$$

$$v_y(t_c) = -\Delta \dot{X}_c(t_c) \cdot \sin(\psi(t_c)) - \Delta \dot{Y}_c(t_c) \cdot \cos(\psi(t_c)) - x_b(t_c) \cdot \dot{\psi}(t_c)$$

여기서,  $\Delta \dot{X}_c(t_c) = \Delta \dot{X}_c(t_i) + \frac{\ddot{X}_c(t_i) + \ddot{X}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \tau$

$$\Delta \dot{Y}_c(t_c) = \Delta \dot{Y}_c(t_i) + \frac{\ddot{Y}_c(t_i) + \ddot{Y}_c(t_{i+1})}{2} \cdot \tau$$

$$\psi(t_c) = \psi(t_i) + \frac{\dot{\psi}(t_i) + \dot{\psi}(t_{i+1})}{2} \cdot \tau$$

$$\dot{\psi}(t_c) = \frac{\ddot{\psi}(t_i) + \ddot{\psi}(t_{i+1})}{2}$$

- 절차 8: THIV를 결정한다.
- 절차 9:  $t_c$  이후  $\ddot{x}_c(t_i)$ 와  $\ddot{y}_c(t_i)$ 에 대하여 10msec 평균 가속도  $\langle \ddot{x}_c \rangle$ 와  $\langle \ddot{y}_c \rangle$ 를 결정한다.
  - 아래 식을 이용하여 10msec동안의 구간 수를 결정한다.

$$n = \text{Interger}(0.01/\Delta t)$$

- 다음 식을 이용하여  $\langle \ddot{x}_c(t_i) \rangle$ 와  $\langle \ddot{y}_c(t_i) \rangle$  10msec 평균가속도를 결정한다.

$$\langle \ddot{x}_c(t_i) \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{i=n+1} \ddot{x}_c(t_i)}{n+1}, \quad \langle \ddot{y}_c(t_i) \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{i=n+1} \ddot{y}_c(t_i)}{n+1}$$

- 절차 10: 각 10msec 평균가속도의 합 가속도의 최대값이 PHD로 정의된다.

$$PHD = \frac{1}{g} (\langle \ddot{x}_c(t_i) \rangle^2 + \langle \ddot{y}_c(t_i) \rangle^2)^{1/2}$$

## 참고문헌

- 건설교통부(2001a) “도로안전시설 설치 및 관리지침(차량방호안전시설 편)”.
- 건설교통부(2001b) “차량방호 안전시설 실물충돌시험 업무편람”.
- 남민균(2007) “탑승자의 이론적 충돌속도와 충돌가속도 해석방안”, 석사 학위논문, 공주대학교.
- European Committee for Standardization(1998) “Road restraint systems(EN-1317)”.
- International Organization for Standardization (2000) “Road vehicles-Measurement techniques in impact tests-Instrumentation(ISO 6487)”.
- Michie, J. D.(1981) “Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features”, *National Cooperative Highway Research Program Report 230*, TRB, Washington, D.C.,
- National Instruments(2005) “DIAdem Users Manual”.
- Ross, H. E, JR, et.al(1993) “Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features”, *NCHRP Report 350*, TRB, Washington, D.C.
- SAE International(2003) “Instrumentation for Impact Test(SAE J211)”, *Society of Automotive Engineers*
- Texas Transportation Institute(2002) “Test Risk Assessment Program(TRAP) Users Manual”.

접 수 일: 2007. 11. 9

심 사 일: 2007. 11. 12

심사완료일: 2007. 12. 5