

## 어린이용 자전거의 차량 충돌거동에 관한 연구

강 대 민<sup>\*1)</sup> · 안 승 모<sup>2)</sup>

부경대학교 기계공학과<sup>1)</sup> · 도로교통공단 부산지부 안전조사검사부<sup>2)</sup>

### A Study on the Collision Behavior of Fairy Cycle to Vehicle

Dae Min Kang<sup>\*1)</sup> · Seung Mo Ahn<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>2)</sup>Department of Safety Investigation, Branch of Busan, Korea Road Traffic Authority, 74 Yongso-ro, Nam-gu, Busan 608-789, Korea

(Received 7 March 2011 / Revised 11 July 2011 / Accepted 27 July 2011)

**Abstract** : Recently the usage of bicycle has increased steeply in Korea owing to traffic culture of well-being. In a car to bicycle accident investigation, the throw distance of bicycle is very important factor for reconstructing of the accident. The variables that influence on the throw distance of bicycle can be classified into the factors of vehicle and bicycle. Simulations and collision tests in actual car to bicycle accident were executed for obtaining throw distance of bicycle. The simulations were done by PC-CRASH<sup>TM</sup> and for actual crash tests sand bags were used for the behavior of bicyclist instead of dummy. Factors considered were vehicle velocity and the moving angles of bicycle, also the types of bicycle and vehicle were fairy cycle and automobile, respectively. From the results, the throw distances of a head-on tire collision of 0° direction was longer than that of tire crash test of 45° direction, and the throw distances of a head-on frame crash test of 90° direction was longer than that of frame crash test of 45° direction. In addition restitution coefficient between vehicle and bicycle was estimated as about 0.1 with based on actual crash tests. Finally the increaser vehicle velocity the longer the throw distances of bicycle, and the results of simulation were relatively good agreement to the experimental results.

**Key words** : Throw distance(전도거리), Fairy cycle(어린이용 자전거), Vehicle velocity(차량속도), Crash direction(충돌방향)

### 1. 서 론

최근 국내외적으로 환경과 건강에 관심이 고조되면서 녹색교통수단이면서 소유가에 따른 대체 교통수단임과 동시에 스포츠 레저산업으로서 웰빙의 교통수단인 자전거가 크게 주목받고 있다. 이에 국내에서는 자전거타기 국민운동전개나 자전거교육 및 홍보강화로 자전거문화가 전국적으로 확산되고 있고 정부에서도 전국을 ‘하나의 자전거생활권’으로 만들기 위해 다양한 대책을 마련하고 있다. 국내 자

전거산업에 관련해서도 취약한 상태를 벗어나 1980년대의 77만대에서 2007년에는 240여만대 규모로 커졌고 이후 양적인 면에서 급속히 증가하고 있다.

자전거이용자가 크게 증가하는 추세에 따라 자전거와 관련된 사고 역시 급격히 증가하는 추세로서, 국내 통계자료에 의하면 2007년도에 발생한 211,662건의 전체 교통사고 중에서 자전거와 관련된 사고는 8,721건으로 전년도에 비해 약 1,000건 정도가 증가하였고 사망자와 부상자역시 각각 304명, 8,963명의 부상자가 발생하여 자전거사고와 더불어 자전거 사고와 관련된 사고분쟁 역시 급격히 증가하고 있

\*Corresponding author, E-mail: dmkang@pknu.ac.kr

는 실정이다.

자전거의 차량충돌에 관한 연구로는 Kroon<sup>1)</sup>에 의해 스웨덴의 고텐부르크에서 차량과 자전거사고에서 측면충돌사고가 높은 빈도를 보였다고 했고 Otte<sup>2,3)</sup>는 독일에서의 자전거사고에 대해 해석한 결과 충돌사고시 차량에 대한 머리의 충격위치는 충돌당시 자전거탑승자의 위치에 의존한다고 하였다. 그리고 Robinson<sup>4)</sup>에 의해 자전거탑승자의 헬멧의 효율성을 언급하는등 다소 연구가 진행되고 있으나 보다 정확한 자전거의 차량충돌시 사고분석을 위해 자전거의 차량충돌에 대한 연구가 매우 필요하다.

본 연구에서는 충돌시 차량속도와 어린이용 자전거의 진행각도에 따른 충돌실험과 해석을 통하여 어린이용 자전거의 차량의 충돌사고시 자전거의 거동을 분석하고자 한다.

## 2. 충돌실험 및 해석조건

충돌실험에 사용된 차량과 자전거조건, 그리고 실험조건등은 다음과 같다.

### 2.1 충돌실험조건

자전거와 차량의 충돌실험은 자전거와 차량과의 실제 사고가 인체가 자전거를 타고 가는 상황에서 발생하나 연구방향이 인체의 상해정도 및 특성등이 아닌 자전거의 튕겨져나가는 전도거리 계산에 초점이 있기에 인체더미를 탑재하지 않았다. 대신 인체가 자전거 차체에 하중이 부가되는 부분인 좌우 손잡이부분, 안장부분, 페달부분에 총 35kg의 웨이트 추를 탑재하여 인체더미를 대신하여 자전거에 실제의 상황과 유사하게 하였다.

여기서 웨이트추의 무게는 국내 초등학교 5-6학년(12세-13세)가량의 평균 체중을 고려하였고 실제 자전거 탑승자의 인체모델은 관절체로 연결되어 핸들바, 시트, 페달부분에 하중이 부가되는 특성을 나타내나 신체 각 부분에 부가되는 하중이 합력되어 하중이 전달되는 부분은 노면에 접하는 전륜 및 후륜 휠에만 전달되므로 하중분력에 대한 미소한 오차는 무시하고 웨이트 추의 적재상태를 하중의 합력지점과 거의 일치되는 차체 중앙부에 하중을 부가하는 방법으로 실험하였다. 웨이트 추의 구성은



(a) Bicycle & Dummy (b) Vehicle  
Fig. 1 Bicycle and vehicle for crash test

모래를 내장한 주머니를 발포 스펀지를 감싸서 차량충격을 완화시키고 반복적인 실험을 위해 발포 스펀지를 다시 외장 커버로 감싸는 구조로 구성되었다.

Fig. 1은 충돌실험 직전의 탑재된 더미와 함께 자전거와 충돌시험에 사용된 차량을 나타낸 것이다. 차량은 승용차형으로 만일의 경우 있을 수 있는 충돌시 운전자의 안전을 고려하여 유리부분에 안전철망을 설치하였다.

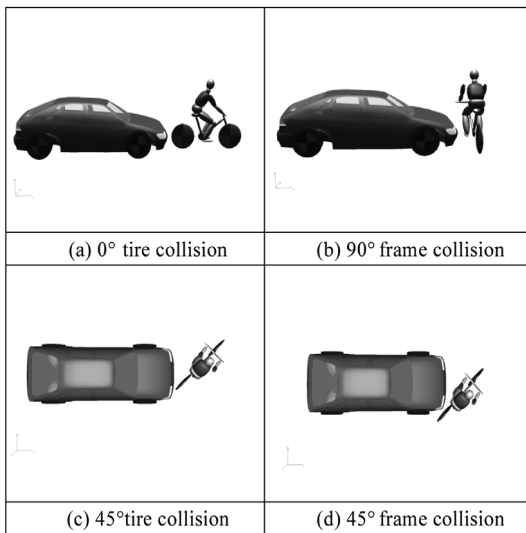
충돌시험은 부산근교 교통량이 거의 없고 우회가 가능하며 운행중인 차량진입차단이 용이한 지역으로 선택하였다. 충돌시험조건은 Table 1에 나타난 것과 같이 자전거의 크기와 더불어 차량충돌속도는 저속(30km/h)과 고속(60km/h)이고 충돌위치는 차량이 탄성체인 자전거의 타이어 부분과 소성체인 자전거의 프레임 부분을 충돌하는 경우 각각 충돌 후 거동이 다른 특성을 지니고 있다. 이와 함께 사고 빈도수가 높은 45° 경사 충돌시에는 프레임충돌과 타이어충돌시 각각 다른 특성을 지니며 성인용 자전거와 아동용 자전거 역시 충돌이후 거동이 서로 다를 것으로 예측되어 충돌 순간 차량과 자전거의 진행상황 및 크기등으로 세분하여 8회의 충돌실험을 행하였다.

Table 2는 실험에 사용된 충돌각도에 따른 충돌형태를 나타낸 것이다. 이중 차량과 자전거의 충돌각도가 0°인 정면충돌인 경우에는 차량의 중앙부에서 앞서가는 자전거의 타이어부분에 충돌하는 경우이고 충돌각도가 90°인 직각횡단 충돌경우 차량의 중앙부에서 자전거의 프레임부분에 충격하는 경우이다. 또한 45° 경사충돌경우 표에 나타난 것과 같이 차량 진행방향의 우측에서 타이어부분과 프레임부분을 충격하는 경우에 대해 실험하였다.

Table 1 Condition for collision test

No	Angle of bicycle	Vehicle velocity (km/h)	Crashed part
1	0°	30.12	Tire
2		47.12	
3	90°	29.43	Frame
4		54.86	
5	45°	27.04	Frame
6		60.95	
7	45°	30.12	Tire
8		60.00	

Table 2 Collision type for experiments



2.2 해석조건

실제 차량대 자전거의 사고에서 자전거 차체에 부가되는 수직하중이 미소하고 이에 상응하는 충격력에 대한 저항력이 미소하여 차량 및 자전거의 충돌 소성변형량을 근거로 하는 충돌해석모델은 적합하지 못하다. 반면, 충돌지점과 충돌후 자전거의 탑승자, 차량의 최종정지 위치를 근거로 구축하는 강체해석 방법은 상호 운동역학적인 힘의 상호관계에 의해 결정되어 이동하는 상관관계로 나타내므로 충돌지점과 충돌후 최종정지 위치를 근거로 충돌해석 모델이 유용한 방법이다.

차량대 자전거충돌 해석을 위해 사용된 차량유형은 PC-CRASH™에서 제공되는 승용차인 세단형 (BMW535모델)을 적용하였고 충돌시 실제차량의

변형 정도는 강체로 취급되어도 무방할 만큼 미진한 상태이므로 PC-CRASH™에서는 차량모델을 강체로 하여 실제차량의 전면구조형상과 거의 일치되는 3D-DXF Drawing을 강체모델<sup>5)</sup>에 적용하여 차량을 실제차량과 근사적으로 모델링하였다. 사용된 자전거모델은 개별질량과 독립적인 복원력 및 강도, 마찰력을 가지는 관절체가 내부마찰이 있는 운동학적 접합조인트에 의해 연결되어 다물체운동을 하는 구조이다.<sup>6,7)</sup>

3. 결과 및 고찰

3.1 실험결과

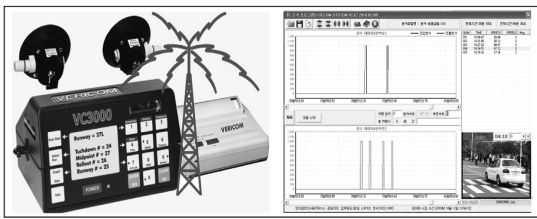
Fig. 2는 차량이 30km/h인 속도로 자전거와 직각으로 타이어부분에 충돌순간에 사진촬영한 것으로 충돌시 탑재된 웨이트추와 자전거는 충격에너지에 의해 일정거리만큼 튕겨나갔다.

충돌후 튕겨진 자전거의 전도거리측정을 위해 먼저 도로위에 기준축이 되는 종방향을 X축, 횡방향을 Y축을 설정하여 좌표법에 의한 측량과 임의 기준점에 DTM400 광과측정기를 설치하고 측정지점에 타켓을 설치하여 측량기에서 발사된 레이저가 타켓에 도착한 후 반사되어 도착하는 소요시간을 이용하여 지점간의 거리를 측량하는 광과측량을 동시에 실행하여 가능한 오차를 최소화하였다. 또한 차량속도측정은 충돌지점에 두 점점을 설치하여 점점간의 거리와 입력신호와 출력신호간의 시간을 감지하여 충돌순간 차량의 속도를 감지하는 점점식 속도 검출방식으로 차량의 속도를 검출하였다.

Fig. 3은 차량충돌시 충돌속도를 정확히 분석할 수있는 장치와 분석예를 나타낸 것이다. 차량충돌 속도분석은 차량내부에 차량의 감속도를 감지하여



Fig. 2 Crash experiment of vehicle and bicycle



(a) Velocity analysis device (VC3000) (b) Result of velocity analysis

Fig. 3 Device and example of velocity analysis

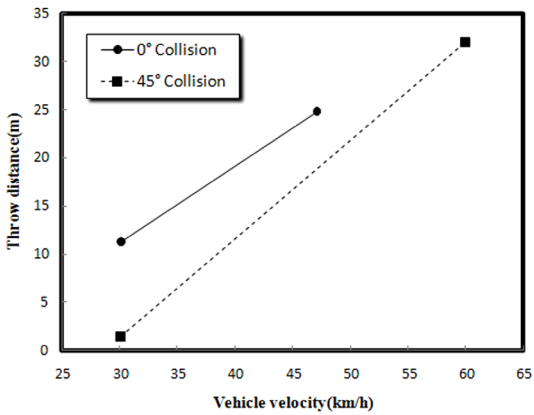


Fig. 4 The throw distance of bicycle to vehicle velocity in 0° and 45° tire collision

차량의 속도를 검출하는 방식인 VC-3000 장치를 설치하여 충돌순간속도를 동시에 검출하였으며, 두 검지기 간의 속도분석자료를 비교분석하여 속도분석의 신뢰성을 제고하였다.

Fig. 4는 차량이 자전거의 후면부인 타이어를 차량정면으로 추돌하는 상태인 충돌각도가 0°인 상태와 차량이 45°각도로 정지된 자전거의 후면부인 타이어를 추돌하는 상태에 대해 차량의 속도증가에 따른 자전거의 최종전도거리의 실험결과를 나타낸 것이다. 여기서 차량과 자전거의 충돌 각도가 0°인 상태와 차량과 자전거의 충돌 각도가 45°인 상태를 상호 비교하면 차량과 자전거의 충돌 각도가 0°인 상태의 전도거리가 45°인 상태에 비해 더 길게 나타났다. 이것은 차량과 자전거가 충돌순간 자전거차체에는 충격력의 편심 작용에 의한 발생하는 요잉(Yawing) 현상에 의해, 충돌각도가 0°인 경우는 차량이 자전거차체의 직 후면부를 충격하는 상태이므로 요잉 현상 발생이 경미하며 충돌 후 자전거는 전

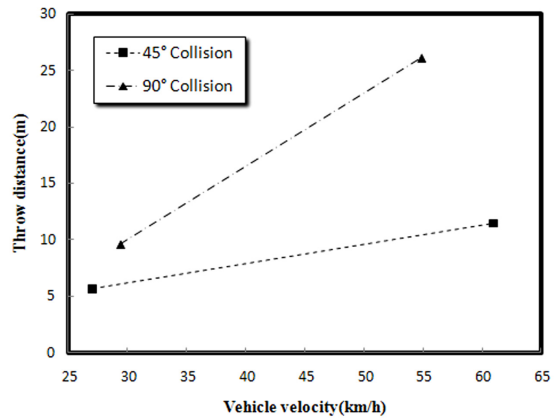


Fig. 5 The throw distance of bicycle to vehicle velocity in 45° and 90° frame collision

방으로 프리 휠링상태와 가까운 상태로 밀려 이동하는 상태이다. 이에 반해 충돌각도가 45°인 경우는 차량의 충격지점과 자전거 동적인 회전중심의 옵셋이 길게 나타나는 결과로 충돌 후 자전거 차체는 충격력의 편심에 의한 요잉현상이 상대적으로 크게 발생되게 되며, 요잉현상은 자전거 차체와 노면간의 회전마찰을 증가시키고 이는 자전거의 운동에너지를 축소시켜 급기야는 자전거의 전도거리가 감소되는 것으로 사료된다.

Fig. 5는 차량이 자전거의 프레임 부분을 차량정면으로 충격하는 충돌각도가 90°인 상태와 차량이 45°각도로 정지된 자전거의 프레임 부분을 충격하는 충돌각도가 45°인 상태에 대해 차량의 속도증가에 따른 차량 대 자전거의 최종전도거리의 실험결과를 나타낸 것이다.

여기서 차량과 자전거의 충돌각도가 90°인 상태와 차량과 자전거의 충돌각도가 45°인 상태에 대해 전도거리를 비교하면 충돌각도가 90°인 상태의 전도거리가 45°인 상태에 비해 더 길게 나타났다. 이것은 자전거가 전륜 휠부분과 프레임부분이 자유회전 가능한 축으로 상호연결된 다물체 링크구조로 구성된 물체이고 자전거의 하중은 전륜 휠 부분과 후륜 휠 부분이 분담하는 상태이다. 그러므로 45°충돌이 하중을 지지하는 자전거 전체 측면부를 충격하는 90°충돌상태에 비교하여 전체 측면을 충격하는 상태가 아니므로 완전한 충격에너지 전달이 되지 않았기 때문인 것으로 사료된다.

### 3.2 해석결과

본 연구에서 사용된 PC-CRASH의 충돌모델은 충돌 후 차량 모델이 변형되지 않고 에너지 전달만 가능하다고 전제하는 강체 역학의 범주 내에서 역적-운동량 이론을 이용하는 강체 해석 방법인 쿠드리흐·슬리바 충돌 모델을 적용하고 있다. 쿠드리흐·슬리바 충돌 모델에서 제시한 반발계수값은 충돌하는 두 물체의 강성도가 대등한 물체간의 충돌에서 적용될 수는 있으나, 차량 대 자전거 충돌현상은 동등한 강성을 가진 물체간의 충돌현상이 아니므로 차량충돌에서 제시한 반발계수와 동일한 값을 적용한다는 것은 신뢰성 있는 결과를 예측하기 어렵다.

본 연구에서의 반발계수값은 실제 차량 대 자전거 충돌실험에 의한 자료를 근거로 동일한 충돌상황을 PC-CRASH™ 프로그램으로 50회이상의 반복적인 시뮬레이션에 의해 재구성하여 가변적인 반발계수변화에 의한 자전거 전도거리변화를 고찰, 실제 자전거 해석결과와 동일한 결과값을 도출하여 반발계수를 산출하였다. 그 결과 자전거의 반발계

수는 차량속도가 높을수록 다소 낮아지는 경향을 나타내었으나 큰 차이는 없었으며 자전거 차체구조의 강성특성 및 재료특성에 의해 0.1의 범위로 수렴되었다.

Fig. 6은 반발계수를 구하기 위하여 충돌각도가 90도인 직각횡단 충돌경우에 대해 반발계수값을 0.1을 입력하여 자전거의 전도거리를 계산하기 위한 예를 표시하였고 계산결과 실제 실험결과와 거의 유사한 결과가 도출되었다. 여기서 기호⊕는 자전거의 최초낙하, ⊕는 웨이트 추의 최초낙하를 나타내고 기호⊖는 자전거의 최종낙하지점, 기호⊗는 웨이트 추의 최종낙하지점을 나타낸다.

Figs. 7-8등은 자전거 충돌시 자전거의 진행각도가 각각 0°인 경우와 90°에 대해 차량속도와 튕겨나간 자전거의 전도거리의 해석결과를 대략적인 경향성을 보기위해 각각 2.23 및 2.11차 항으로 나타낸 것이다. 여기서 ▲표시는 해석결과, x표시는 실험결과를 나타낸 것으로 실험과 해석결과는 차량속도가 증가할수록 자전거의 전도거리는 증가하였고 해석결과는 실험치와 비교적 잘 일치하였다.

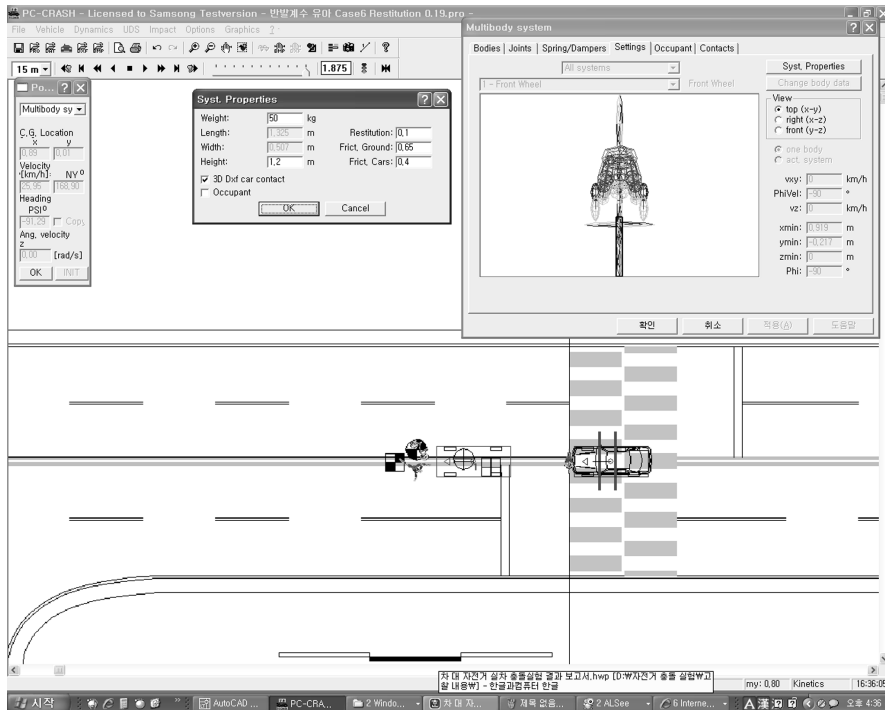


Fig. 6 Simulation example for calculating restitution coefficient

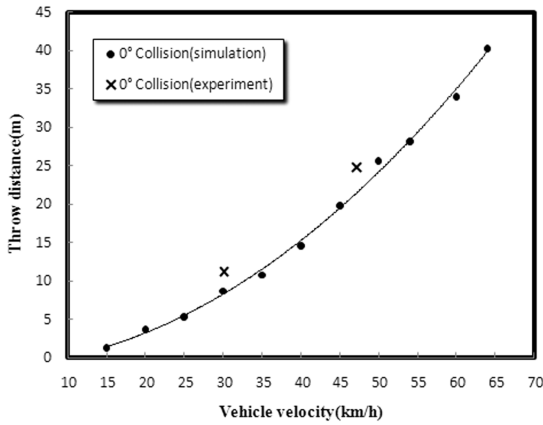


Fig. 7 Throw distance vs. vehicle velocity (0° collision)

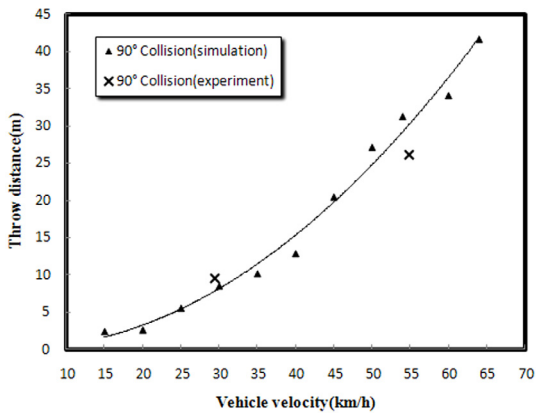


Fig. 8 Throw distance vs. vehicle velocity (90° collision)

#### 4. 결론

본 연구에서는 충돌시 차량속도와 어린이용 자전거의 진행각도에 따른 실제 차량 충돌실험을 하였다. 그 결과, 차량과 자전거의 충돌각도가 0°와 45°인 타이어 충돌경우에 대해서는 0°인 정면충돌인 경우가 45°인 충돌경우보다 전도거리가 크게 나타났고 충돌각도가 45° 경우와 90°인 프레임 충돌인 경우에 대해서는 90°인 정면충돌인 경우가 45°인 충돌경우보다 전도거리가 크게 나타났다. 그리고 PC-CRASH™ 프로그램을 이용하여 추정된 자전거

의 반발계수는 차량속도가 높을수록 다소 낮아지는 경향을 나타내었으나 큰 차이는 없었으며 자전거 차체구조의 강성특성 및 재료특성에 의해 0.1의 범위로 수렴되었다. 또한 차량속도에 따른 자전거 전도거리에 대해 충돌실험과 해석결과는 차량속도가 증가할수록 자전거의 전도거리는 증가하였고 해석결과는 실험치와 비교적 잘 일치하였다.

#### 후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0021196).

#### References

- 1) P. Kroon, Bicycle Accidents in Gothenburg, Ph.D. Dissertation, Gothenburg University, Gothenburg, Sweden, 1990.
- 2) D. Otte, "A Review of Different Kinematics Forms in Two-wheel Accidents - Their Influence on Effectiveness of Protective Measures," SAE STAPP 801314, 1980.
- 3) D. Otte, "Injury Mechanism and Crash Kinematics of Cyclists in Accidents - An Analysis of Real Accidents," SAE STAPP 892425, 1989.
- 4) D. L. Robinson, "Changes in Head Injury with the New Zealand Bicycle Helmet Law," Accident Anal. Prevent. 33, pp.687- 691, 2001.
- 5) S. Datentechnik, PC-crash Technical Manual Ver.6.2, pp.53-64, 2001.
- 6) A. Moser, H. Steffan and G. Kasanicky, "The Pedestrian Model in PC-crash - The Introduction of a Multi Body System and Its Validation," SAE 1999-01-0445, 1999.
- 7) T. H. Lee, E. M. Ahn and J. H. Hong, "Study of Reconstruction and Injury in Several Car-pedestrian Accidents," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.1707-1712, 2005.