Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 4, pp.8-13 (2008)

Copyright Ⓒ 2008 KSAE
1225-6382/2008/094-02

국산자동차의 보행자 보호를 위한 머리모형 충격시험

용 부 중[*1] · 김 시 우[2] · 윤 경 한[2]

경일대학교[1] · 교통안전공단 자동차성능연구소[2]

Headform Impact Test for Pedestrian Safety using Domestic Vehicles

Boojoong Yong[*1] • Siwoo Kim[2] • Kyong-Han Yoon[2]

[1]School of Mechanical & Automotive Engineering, Kyungil University, Gyeongbuk 712-701, Korea
[2]Korea Automobile Testing & Research Institute, 625 Samjon-ri, Songsan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-871, Korea
(Received 28 November 2007 / Accepted 2 January 2008)

Abstract : Since hundreds thousands of pedestrians are killed or injured in car accidents every year, a variety of research efforts have been performed to protect pedestrians in pedestrian-vehicle crashes. The IHRA reports that injuries on the child head, the adult head, and the adult lower leg/knee are the most critical in the crashes. Identifying the current status of international activities on pedestrian protection, this study, in particular, carries out headform impact test using selected domestic vehicles categorized by three groups - Sedan, SUV (Sport Utility Vehicle), and 1 Box (One Box) Vehicle. According to the valuable findings from the test results, this paper proposes a methodology under which the Korean Technical Regulation for protecting pedestrians in pedestrian-vehicle crashes will be developed.

Key words : Pedestrian-vehicle(차대보행자), IHRA(국제기준조화연구활동), Headform(머리모형), Lower leg(하부다리)

1. 서 론

일반적으로 차대보행자간에 발생하는 교통사고의 유형을 볼 때, 머리와 다리 부분이 인체의 타 부위에 비해 훨씬 치명적인 손상을 입는 것으로 나타나고 있다. 이와 관련하여 미국이 주도하는 첨단안전차량학회(ESV, Enhanced Safety Vehicle) 산하 국제기준조화연구회(IHRA)에서 조사·분석한 자료에 의하면, 미국, 일본, 호주, EU 등의 차대보행자 사고 역시 가장 빈도가 높은 상해 부위는 머리(31.4%)와 다리(32.6%, 대퇴부, 무릎 등 하체 포함)로 보고되었다.[1] 또한 국내 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 수행중인 보행자 친화적 첨단안전차량 연구 과제에서 조사한 어린이 보행자 사고의 통계에서도 머리의 상해가 64.5%로 가장 높은 빈도를 보이고 있다.[2]

이러한 여러 가지 교통사고 통계에 따라 상해 정도가 가장 높은 머리와 다리부분에 대해 UNECE /WP29의 세계기술규정에서도 최우선적으로 안전기준을 검토·제정 중에 있다.[3] 유럽에서는 이미 EU Directive를 통해 1단계와 2단계에 걸쳐서 머리와 다리에 대한 안전 기준을 제시하고 있으며, 이 기준에 의해 유럽에 수출하는 자동차에 대해서는 EU Directive에 만족하도록 제작되어 수출이 되어야 한다.[4] 국내 일부 자동차의 특정 모델은 이미 유럽의

*Corresponding author, E-mail: yongb@asme.org

EU Directive의 1단계에 적합하게 제작되어 수출되고 있는 것으로 알려지고 있다.

본 연구는 보행자 상해 부분에서 특히, 머리 부분에 대하여 집중 고찰하였다. 현재 여러 UN 회원국들과의 협의와 검토에 의해 제정 중에 있는 세계기술규정과 관련하여, 국내 자동차의 실태 파악을 통해 국내 자동차의 보행자 보호 수준을 확인하고 자동차 업계의 보행자보호에 대한 인식을 확대함으로써, 안전기준의 도입 시기 및 국제무대에서 자동차 강국으로서의 입지를 높이기 위하여 머리모형 충격시험이 수행 및 분석 되었다. 시험은 총 7대의 자동차를 사용하여 세계기술규정(GTR)에서 제시하는 시험절차를 바탕으로 수행하였으며,[5,6] 다양한 시험자동차에 대해 보행자의 관점에서 동일한 위치의 상해 값을 확인하기 위해 일정한 차체둘레거리(WAD, Wrap Around Distance)에서 시험목표지점을 설정하여 시험을 수행하였다.[7]

2. 시험 개요

2.1 시험절차

시험자동차는 국내에서 제작・판매되고 있는 자동차를 대상으로 세단형 5차종, SUV형 1차종, 1 Box형 1차종 등 총 7개 차종에 대하여 시험을 하였다. 시험절차는 세계기술규정에서 거의 확정 논의되고 있는 시험속도와 시험각도 및 시험영역의 설정방법에 따라 시험을 수행하였다. 세계기술규정이 지속적으로 검토/개정되고 있음에 따라 7개 자동차의 시험과정 중에 일부내용이 변경되었고, 이에 따라 세단형 3차종, SUV형 1차종, 1 Box형 1차종과 세단형 2차종에서의 머리모형 충격각도가 서로 다르게 수행되었다. 상세 시험속도 및 시험각도는 Table 1과 같다.

Table 1 Test speed and impact angle

구 분		어린이 머리모형			성인 머리모형		
시험범위		1000≤WAD≤1700			1700≤WAD≤2100		
속도/각도	속도	충 격 각 도 (Impact angle)					
Sedan	35km/h	65°	⇨ 변경	50°	65°	⇨ 변경	65°
SUV		60°			90°		
1 Box		25°			25°		

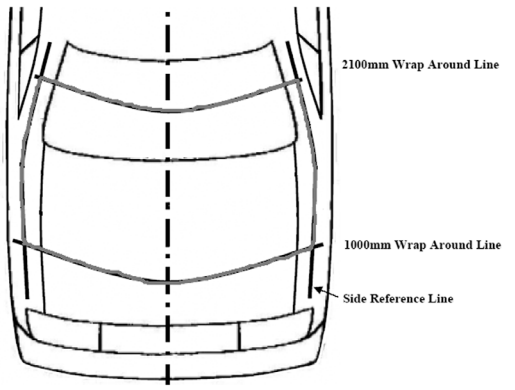

Fig. 1 Test area

시험영역은 Fig. 1과 같이 WAD 1000 기준선 및 WAD 2100 기준선과 측면기준선의 교차점을 시험영역으로 설정하였다.

2.2 시험장치

시험장치는 국가교통핵심기술개발사업의 보행자 친화적 첨단안전차량개발 연구과제에 의해 개발된 장치를 사용하였다.[8] 이 장치는 고압의 질소가 발사노즐을 통해 피스톤 로드로 분사되어 속도를 얻는 형식으로서, Photo 1과 같은 장비 본체와 데이터 계측장비 및 분석 장치를 갖추고 있다.

머리모형 추진의 경우 자유비행시 중력에 의한 자유낙하와 회전 등을 고려하여 최초 추진각도와 머리모형 목표중심위치를 설정하고, 시험목표지점과 머리모형이 직선상에 일치 되도록 Fig. 2와 같이

Photo. 1 Test apparatus

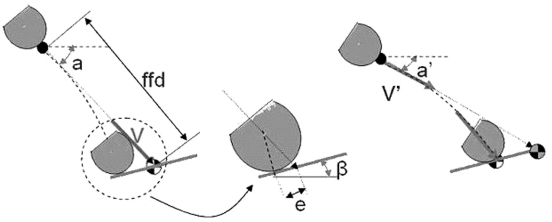

Fig. 2 First contact point by headform

Table 2 Adult · Child headform specification

구분	규격 내용	
성인	중량 (kg)	4.5±0.07
어린이	중량 (kg)	3.5±0.07
성인/어린이머리모형	외경 A (mm)	165.0±1
	스킨 두께 (A-B)/2 (mm)	14.0±0.5
	무게 중심 상대거리 거리 (mm)	±5.0
	관성모멘트 (kgm^2)	0.0075±0.020

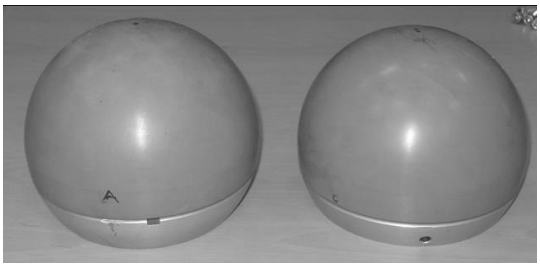

Photo. 2 Adult(left)/Child(right) headform

정렬하여 시험을 수행하였다.

시험에 사용한 머리모형 충격장치는 어린이 머리모형과 성인 머리모형이 있으며, 세계기술규정에 기술된 사양과 동일한 어린이(3.5kg), 성인(4.5kg) 머리모형을 사용하였다. 그 상세내역은 Table 2와 같고, 머리모형은 Photo 2와 같다.

3. 머리모형 시험 수행

3.1 시험자동차의 준비

자동차제작사에서 사용하는 타이어 공기압력을 주입시킨 자동차를 종방향과 일치하도록 앞바퀴를 정렬하고, 공공도로에서 사용하기 위한 자동차의 필수 최적용량의 작동유체 및 자동차제작사가 제공하는 모든 표준 장비를 탑재한 상태에서 운전석과 조수석 좌석에 각각 75kg의 중량을 적재하여 자동차가 도로를 운행하는 조건을 갖춘 후, 자동차를 앞뒤로 1m씩 3회 이동하여 정상적차상태(Normal Ride Attitude)를 재현하였다.

차체둘레거리(WAD)는 자동차를 정상적차상태에서 유연한 줄자를 자동차의 앞 범퍼로부터 수직으로 지면에 내린 지점에서 자동차의 곡면을 따라 이어지는 줄자의 거리를 말한다. 이 연구의 시험에서는 WAD 1000mm, 1350mm, 1700mm, 2100mm의 기준선을 Fig. 3과 같이 설정하였다.

측면기준선은 700mm 길이의 직선자를 자동차의 수직면에 평행하게 안쪽으로 45° 기울여 차체 측면의 표면과 접촉을 유지하면서 전면 구조물의 옆면, A-필러 또는 차체지붕 밑으로 이동할 때, 전면 구조물, A-필러 또는 지붕의 옆면간의 가장 높은 접촉점의 기하학적 경로로서 Fig. 4와 같이 설정하였다.

시험위치는 Fig. 5와 같이 WAD 1000mm과 측면기준선(Side Reference Line)에서 각각 안쪽으로 82.5mm씩 들어오게 기준선을 그려 WAD 1082.5mm, 1350mm, 1700mm와 측면기준선, 후드의 3등분 교차점으로 설정하였다. A-필러 및 창유리의 경우 시험조건의 가혹도와 머리모형 스킨의 내구성 등의

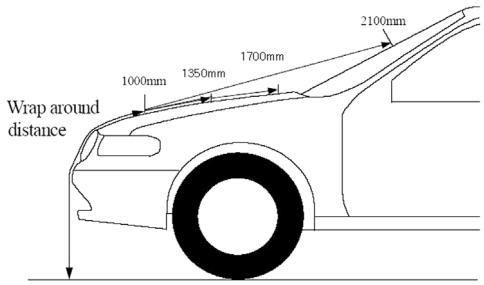

Fig. 3 WAD for test

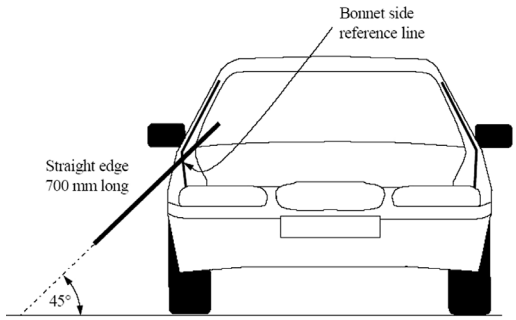

Fig. 4 Side reference line

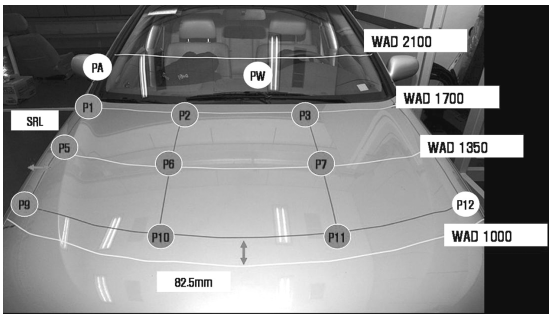

Fig. 5 Impact point

문제로 인하여 각각 1곳만 시험을 수행하였다.

3.2 시험조건 및 결과

3.2.1 시험조건

시험자동차의 충격속도는 35km/h로 동일하나, 세계기술규정 제정 논의 중 충격각도 기준(안)이 바뀜에 따라 Table 3과 같이 충격각도를 변경하여 시험을 수행하였다.

Table 3 Test speed & impact angle

구 분		어린이 머리모형	성인 머리모형
차명	속도	충 격 각 도 (Impact angle)	
Sedan A,B,C	35km/h	65°	65°
Sedan D, E		50°	65°
SUV F		60°	90°
1 Box G		25°	25°

3.2.2 시험결과

시험시 속도 측정은 계측된 종방향 가속도계의 적분을 통하여 속도를 산출하였으며, 머리모형 충격시 계측되는 가속도를 바탕으로 다음의 식 (1)~(2)에 따라 가속도 합성값(A_R)을 통한 HIC_{15}를 계산하였다.

$$A_R = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \tag{1}$$

$$HIC = (t_2 - t_1)\left[\frac{\int_{t_1}^{t_2} A_R dt}{(t_2 - t_1)}\right]^{2.5} \quad ; \; t_2 - t_1 = 15m\sec \tag{2}$$

1) 세단 자동차

각각의 자동차에 대해 창유리 및 A-필러를 시험하였다. 특히 세단 A의 경우, A-필러에 대한 HIC_{15}가 4000을 넘었으며 창유리에 대해서는 약 800으로 나타났다. 세단 자동차 전체적으로 휀더 상부와 후드 힌지 부위에서는 머리상해값(HIC)의 기준값인 HIC_{15} 1000을 초과하는 것으로 확인되었다. 각 시험 자동차에 대한 HIC_{15}의 결과는 Table 4와 같다.

Table 4 HIC_{15} for test sedans

Sedan	P1	P2	P3	P5	P6	P7	P9	P10	P11
A	2827	795	893	2388	795	811	1924	950	995
B	3004	895	1358	1287	605	578	948	746	675
C	2487	856	761	2450	595	497	2033	562	683
D	3803	873	1006	2851	-	722	1965	862	572
E	4058	1270	1241	2056	749	580	2057	765	950

세단 A의 대표적인 시험 지점별 HIC 분포는 Fig. 6과 같으며, Fig. 7~8은 세단 A 및 세단 C 각각의 가속도 합성값이다.

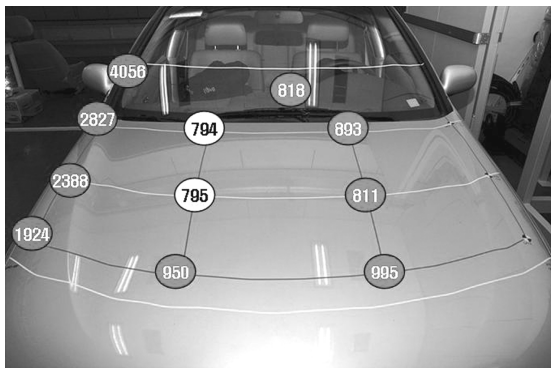

Fig. 6 HIC_{15} for sedan A

2) SUV 자동차

어린이 머리모형에 대하여 시험을 수행하였으며, 세단 자동차와 상이하게 Table 5와 같이 WAD 1000mm 라인 충격지점에서의 HIC_{15}가 높게 발생하였다.

3) 1 BOX 자동차

충격지점 설정 결과 성인의 머리모형은 전면 창유리 영역임에 따라 어린이 머리모형의 시험만을

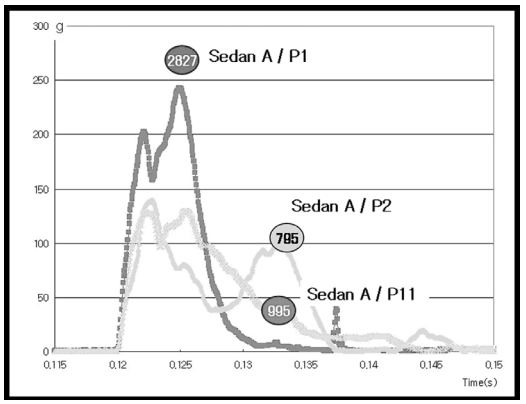

Fig. 7 Acceleration resultants for sedan A

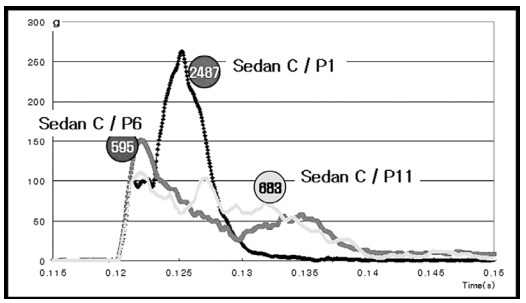

Fig. 8 Acceleration resultants for sedan C

Table 5 HIC_{15} for SUV

SUV	P1	P2	P3	P5	P6	P7	P9	P10	P11
F	-	-	-	2052	973	942	2317	1751	1936

Table 6 HIC_{15} for 1 BOX

1BOX	P1	P2	P3	P5	P6	P7	P9	P10	P11
G	-	-	-	2783	297	382	2881	1261	1224

시행하였다. Table 6에 정리된 데이터를 살펴보면 SUV 시험자동차와 마찬가지로 WAD 1000mm 라인 충격지점에서의 HIC_{15}가 높은 것으로 확인되었다.

4. 시험결과 고찰

4.1 차종별 머리상해값 비교

차종별 머리상해값은 Fig. 9에 정리하였다. 어린이 머리모형 시험각도가 D, E 자동차의 경우 약간 상이 하지만, 세단자동차의 경우 전반적으로 후드 중앙부위인 P6, P7, P10, P11의 HIC는 1000이하인 반면, 후드 힌지나 펜더 상부인 P1, P5, P9의 경우 최

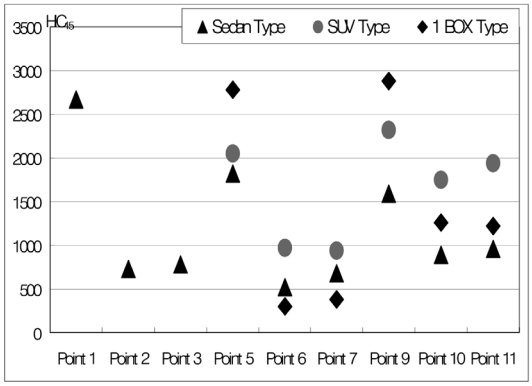

Fig. 9 HIC by each vehicle types & impact points

대 3000이상이 발생한 것으로 확인되었다. 세단과 SUV, 1 Box 자동차에 대한 어린이 머리모형의 시험결과를 비교하면 펜더 상부는 모두 HIC가 1000이상이었고, 특히 SUV와 1 Box 자동차의 WAD 1000mm 영역에서 P10, P11이 모두 세단의 경우와 상반되게 1000이 초과되는 것으로 나타났다.

4.2 시험위치별 머리상해값 비교

각 시험위치별 HIC 역시 Fig. 9에서와 같이 전체적으로 후드의 힌지 부위와 펜더 상부인 P1, P5, P9에서 모두 HIC 1000이 초과되었다. 후드의 중앙부위는 후드 보강재의 형상이나 후드와 엔진룸 내부의 여유 공간 차이에 따라 자동차별로 편차가 있으나, 전체적으로 HIC_{15}가 1000이하인 것으로 확인되었다. 또한 각 시험위치별 가속도 합성값에서도 볼 수 있듯이 가속도값과 지속시간의 관계에서 1차 충격과 2차 충격이 발생하는 시간간격과 가속도의 크기에 따라 HIC가 좌우되는 것도 확인할 수 있었다.

후드부분의 HIC를 줄이고 보행자의 치명상을 감소시키려면 1차 충격으로 가속도가 클 경우, 가능한 충격 지속시간을 짧게 하여 머리가 받는 상해가 감소되도록 차체가 설계되어야 할 것이다. 2차 충격에 의한 가속도가 높은 경우는 후드와 엔진룸의 돌출부 또는 후드 보강재와 후드 표면의 접촉으로 인해 가속도가 높게 발생된 것으로 추정된다. 따라서 전자에서는 엔진룸과의 간격을 조절하여 2차 충격이 발생되지 않도록 유도하고, 후자에서는 보강재 부분의 여유 공간 확보 등이 필요할 것이다. 후드 중앙

부위의 가장 기본적인 상해감소방안은 후드와 엔진룸의 여유 공간을 확보하는 것이며, 후드 내부의 보강재와 엔진룸의 배치 등을 고려하여 후드와 엔진룸 돌출부의 간격과 후드 내부 보강재의 여유 공간 및 위치에 대한 최적화 등이 검토되어야 할 것이다.

4.3 시험각도 상이에 따른 결과 비교

시험과정에서 세계기술규정의 시험각도가 변경되어 동일한 자동차에 대해서 예전의 시험절차와 변경된 시험절차에 따라 시험을 수행하였을 경우 그 차이를 알아보고자 비교시험을 수행하였다. 세단 A에 대해 충격각도의 변화가 없는 성인 머리모형은 생략하고 변경된 (65°→50°) 어린이 머리모형의 시험을 수행한 결과, Table 7과 같이 동일한 지점에서 HIC가 12%~31% 감소하였다. 이는 동일한 후드각도에서 상대적인 충격각도가 작아짐에 따라 후드 아랫방향으로의 분력이 낮게 작용되어 나타난 결과로 분석된다.

Table 7 HIC_{15} results by different impact angles

	충격각도	P5	P6	P7	P9	P10	P11
어린이 머리모형	65°	2388	795	811	1924	950	995
	50°	1714	550	618	1696	816	747

5. 결 론

현재 보행자 보호 관련 기술 등이 고려되지 않은 국산자동차에 대하여 머리모형시험을 통한 보행자 보호 성능 현황과 그 특성에 대해 검토한 결과, 시험을 수행한 자동차 중에 세계기술규정에 만족하는 자동차는 없는 것으로 확인되었다. 그 내용을 요약정리하면 다음과 같다.

1) 자동차별로 편차는 있으나 A-필러, 후드 힌지부, 펜더 상부의 경우 모두 HIC가 1000을 초과하므로 향후 보행자 보호기준 도입 시 면밀한 검토가 필요하다.
2) SUV 및 1 Box 자동차의 경우 WAD 1000mm 부위 지점에서의 HIC가 1000이상으로 세단과 비교하여 높게 나타남에 따라 어린이 보행자 사고시 머리상해 증가에 대한 추가적 대비가 필요할 것으로 사료된다.
3) 현실적으로 HIC 1000이하를 만족하기 어려운 부분인 A-필러 및 전면 창유리 접합부 등의 경우는 수동적(Passive) 형태의 설계개선보다는 능동적(Active) 개념에서의 설계개선이 보행자 사고시 치명적인 상해를 줄이는데 효과적이라고 판단된다.

후 기

본 연구는 건설교통부의 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 현재 수행중인 “보행자 친화적 첨단안전차량 개발” 연구과제의 일부이며, 또한 경일대학교 일반연구과제의 지원 하에 이뤄졌음.

References

1) International Harmonized Research Activities, Pedestrian Safety Working Group 2001 Report, IHRA Pedestrian Working Group Report, 2002.
2) National Transportation Technology Development (MOCT), Pedestrian Friendly Vehicle Development, 2nd Annual Report, KOTI, KATRI, HYU, KTEU, Hyundai Motor Co., 2004.
3) World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations (WP 29) Working Party on Passive Safety (GRSP), Agenda item A.1, 37th Session, 2005.
4) Commission of the European Communities, Directive 2003/102/EC of the European Parliament and Amending Council Directive 70/156/EEC, 2003.
5) UNECE/TRANS/WP29/AC3/7, Proposal to develop a Global Technical Regulation, 2004.
6) UNECE/TRANS/WP29/GRSP, Proposal for a Global Technical Regulation, 2005.
7) European Experimental Vehicles Committee, Improved Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Affected by Passenger Cars, EEVC Working Group 17th Report, 1998.
8) S. W. Kim, Y. W. Yoon, J. W. Lee, K.-H. Yoon and D. S. Hwang, “A Study for Headform Impact Test of Pedestrian Safety in Domestic Vehicles,” Fall Conference Proceedings, Vol.III, KSAE, pp.1496-1501, 2005.