

CRS의 부착방식에 따른 어린이 탑승자 안전도 비교

이재완^{*1)} · 윤영한²⁾ · 박경진³⁾

교통안전공단 자동차성능시험연구소^{*1)} · 한국기술교육대학교²⁾ · 한양대학교³⁾

Child Occupant Safety According to the ISOFIX Type of CRS

Jaewan Lee^{*1)} · Younghan Youn²⁾ · Gyung-Jin Park³⁾

^{*1)}Korea Automobile Test and Research Institute, Gyeonggi-do 445-871, Korea

²⁾Korea University of Technology and Education, Chungnam-do 330-708, Korea

³⁾Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Gyeonggi-do 425-791, Korea

(Received 4 April 2003 / Accepted 12 June 2003)

Abstract : These days, automobile industry pays considerable attention to child occupant safety. As the US adopted requirements for universal and uniform anchor systems for child restraints, manufacturers for child seats put an enormous effort to improve the protective properties of Child Restraint System (CRS). Various standards have been studied and announced by different countries. The anchorage system is the most important in the CRS and the rules of universal anchor are to provide devices which are independent of safety belts. A new concept called International Standard Organization Fixture (ISOFIX) has been announced. It suggests some designs for the CRS. In this study, the suggested designs are evaluated with domestic products. Tests are performed and the results are incorporated into a finite element modeling process. As the finite element model is established, various numerical tests are conducted and the numerical results are discussed. A commercial software system is utilized for the nonlinear finite element analysis.

Key words : Chest G(가슴상해치), HIC(머리상해치), Tether anchorage(상부 부착구), CRS(어린이보호용좌석), Lower attachments(하부 부착구), ISOFIX, LATCH

1. 서론

어린이보호용좌석(Child Restraint System, CRS)은 자동차 충돌 사고 시 어린이 탑승자를 매우 효과적으로 보호하지만, 설치가 어렵고 다양해 규정화된 설치방법이 정해져 있지 않아 오사용률이 매우 높은 편이다.^{1,4)} 그러한 이유로 선진 각국은 자동차 좌석과 CRS간의 표준화된 설치방법의 많은 노력을 기울여왔다. 1991년에 스웨덴에서 자동차에 범용으로 어린이보호용좌석을 부착하는 새로운 개념의

ISOFIX (International Standard Organization Fixture) 장치를 발표하였다.^{1,2)} ISOFIX는 안전띠 없이 독립적으로 CRS를 차체에 고정하는 방식을 말한다. 그 후 수많은 대안들이 제시되었고 이에 따라 ISO의 어린이보호용좌석 작업 그룹인 ISO/TC22/SC12/WG1에서 ISOFIX에 대한 설계안과 성능요건을 준비하고 있다.²⁾ 미국은 새로운 부착방식에 대한 기준을 개정하였고, 유럽 또한 유사방식에 대한 통합 및 개정안을 공포하였으며 시행 예정이다. 한편 국내 CRS 보급률은 19.4%로 매우 저조한 편이다.⁵⁾ 그러므로 국내 CRS의 보급에 앞서 국내에 적합한 장착 방식에 대한 연구가 필수적이다. 이와 더불어 동일

*To whom correspondence should be addressed.
jwlee@kotsa.or.kr

한 조건의 CRS에 대해 ISOFIX가 제시한 설치방법이 어린이 탑승자에게 어떠한 상해정도를 나타내는가를 파악하는 것 또한 필요하다.

본 연구는 ISOFIX의 각종 방안에 따른 어린이 탑승자의 상해정도를 파악하고 해석적 기준을 만들고자 현재 국내에서 사용중인 CRS를 ISOFIX의 각 방안에 준하여 비선형 유한요소 해석방법을 이용하였다. 그러나 국내에는 ISOFIX 방식의 CRS가 없어 시험적으로 평가가 불가능하여 기존의 안전띠 고정방식에 대한 충돌모의 시험 결과를 해석의 베이스라인(Baseline)으로 설정하여 다양한 고정방식에 따른 비선형 유한요소 해석으로 CRS의 ISOFIX에 대한 해석 데이터의 신뢰성을 부여하고자 하였다. 비선형 유한요소 해석 모델을 설정한 후 ISOFIX의 각종 방안에 대한 수치해석을 수행하였으며 그 결과를 고찰하였다. 비선형 유한요소 해석을 위하여 컴퓨터 응용설계(CAD)의 상용 소프트웨어를 이용하였다.

2. ISOFIX 관련 각국 기준

2.1 국내 CRS 관련 기준

CRS 관련 국내 기준은 착용 의무화, 품질기준 및 설치기준으로 구분되며, 도로교통법 제48조의2 제1항에서 만 6세 미만 어린이에 대하여 유아용보호장구의 착용 의무화를 규정하고 있고,⁶⁾ 품질경영및공산품안전관리법⁷⁾ 제9조 및 시행규칙 제6조에 의거 자동차용 연소자보호장치 안전검사 기준에 따라 품질에 대한 안전검사를 시행하고 있다.⁸⁾ 또한 자동차 안전기준 제27조 및 제103조에서 어린이 보호용 좌석 상부부착장치를 부착할 경우 이에 대한 설치 및 강도에 대하여 규정하고 있다.⁹⁾

2.2 미국의 ISOFIX 기준개정 내용

미국에서 채택한 ISOFIX 유형은 유연한 형태의 2곳의 하부 부착구와 1곳의 상부 부착구로 구성된 Fig. 1의 방안 C의 구조로 LATCH (Lower Anchors and Tethers for Children) 시스템으로 부르고 있다.¹⁰⁾ 이와 관련하여 FMVSS 213 - 어린이보호용좌석 기준¹¹⁾을 개정하였고 FMVSS 225 - 어린이보호용좌석 부착구 기준¹²⁾을 제정하였으며 LATCH 시스템은 Fig. 1, 하부 부착구는 Photo. 1과 같다.

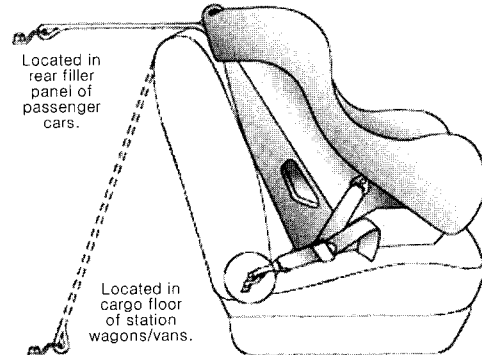


Fig. 1 The LATCH system (the lower anchors and upper tethers)⁵⁾

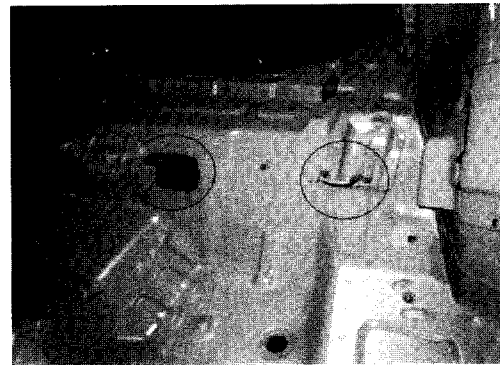


Photo. 1 The lower anchorages located in vehicle floor

2.3 유럽의 ISOFIX 기준개정 동향

유럽의 어린이보호용좌석 기준인 ECE R44.03¹³⁾에서 CRS를 유형에 따라 범용, 제한형, 준-범용 및 특정-자동차 등 4개의 유형으로 구분하고 있다. 현행 기준에는 준-범용 유형의 경우 CRS를 2점식 안전띠로 고정할 경우 1곳 또는 2곳의 상부 부착구를 사용하도록 되어 있다. ECE R44.04¹⁴⁾의 개정안은 방안 B와 유사한 형태로 분류할 수 있다.

3. CRS 고정방식에 대한 평가

3.1 CRS 해석모델

국내에서 사용중인 CRS를 임의로 선택하여 컴퓨터 응용설계(CAD)의 상용 소프트웨어인 CATIA¹⁵⁾ 및 해석을 위한 범용 전·후 처리기인 Hypermesh¹⁶⁾를 이용한 해석 모델링을 실시하였다. Photo. 2 및 Fig. 2는 모델링을 위해 선정된 국내에서 사용하고 있는 CRS 및 해석 모델링을 보여준다.

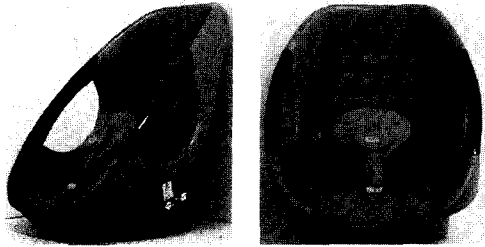


Photo. 2 Domestic using CRS

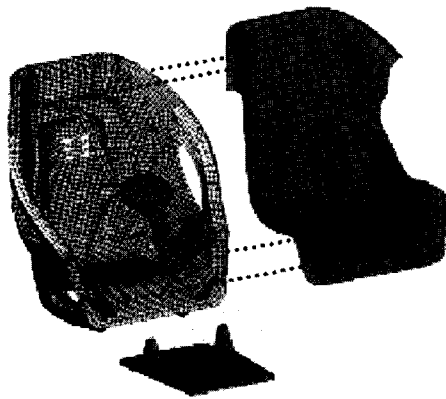


Fig. 2 CRS FE model

3.2 FMVSS 213에 따른 충돌모의 시험

CRS의 장착방법에 따른 상해치의 효과 분석 및 해석 데이터의 신뢰성을 부여하기 위하여 FMVSS 213 규정에 의해 시속 48.3km/h(30mph)의 속도로 수행하였으며,¹¹⁾ 이 때 사용한 인체모형은 Hybrid III 3세 어린이 인체모형이며, Photo. 3은 충돌모의 시험 장면이다.

시험 가속도 파형은 Fig. 3과 같이 FMVSS 213 시험절차의 상부 및 하부한계로 주어진 영역 안에 들

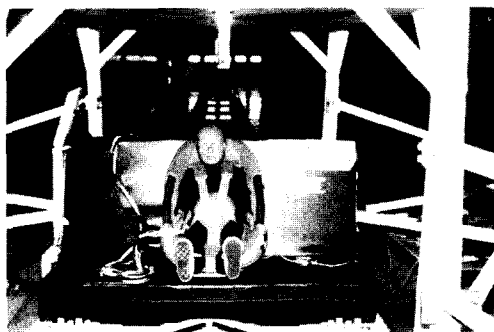


Photo. 3 Traditional CRS test set-up for FMVSS 213¹⁰⁾

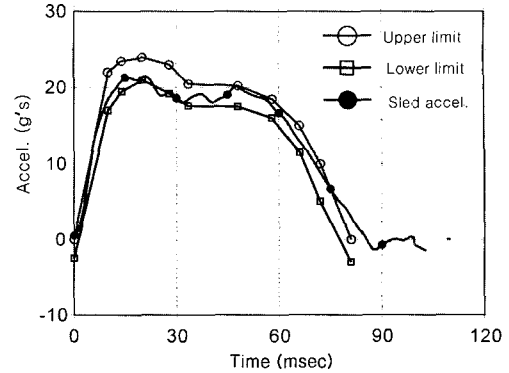


Fig. 3 FMVSS 213 test pulse within tolerance band

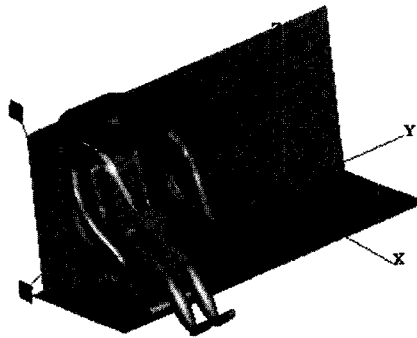


Fig. 4 Pam-safe analysis of traditional CRS

어오도록 시험하였다. 또한 자동차 충돌해석 범용 프로그램인 Pam-safe¹⁷⁾를 이용한 해석시 가속도 파형은 선형적인 형태로 기준범위 안에서 적용하였다.

Fig. 4는 Pam-safe를 이용한 국내에서 사용하고 있는 CRS의 일반적인 고정방식에 대한 해석 모델을 나타내며, ECR R44에 해당하는 3세 어린이 리지드 아티큘레이티드 인체모형 (Rigid articulated dummy)을 사용하였다. 이 인체모형은 충돌모의 시험에 사용한 것과 동일하지는 않지만 신장 및 체중을 3세 어린이를 기준으로 제작된 것으로 인체 거동 및 머리 및 흉부 합성가속도 특성이 유사하므로 이를 사용하였다.

3.3 ISOFIX 설계방안 및 해석 조건

CRS에 대한 기존의 부착방식에 대한 여러 문제점을 해결하기 위하여 1990년에 스웨덴에서 새로운 개념을 연구하였고 1991년에 ISOFIX의 시제품을 ISO 작업 그룹에 소개하였으며 Fig. 5와 같다. 첫 번

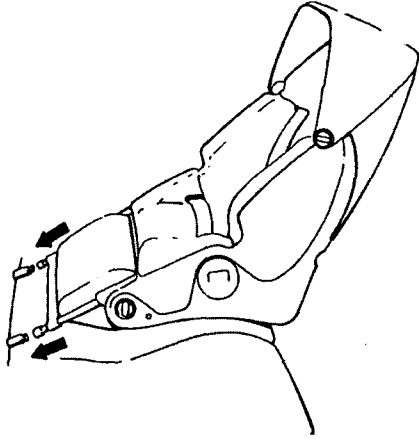


Fig. 5 The first prototype of ISOFIX¹⁾

제 시제품은 2점식으로 에어호스 커플링을 이용하여 CRS를 차체에 부착하는 방식으로 매우 긍정적인 반응을 얻었으며, 이를 계기로 ISOFIX에 대한 연구가 시작되었다.¹⁾

그 후 ISOFIX는 초기에 제시된 다양한 안의 문제점을 보완하고 개선하여 새로운 4가지 안을 확정지었으며 4가지 안은 다음과 같다. 4개의 부착구로 이루어진 A 방안, 뒤쪽의 2개의 부착구와 1개의 상부 부착장치를 이용한 B 방안, 뒤쪽의 2개의 부착구를 사용하지만 자동차 좌석에 대하여 CRS를 눌러 고정시킴으로서 회전을 일부 방지하는 B' 방안, 조절식 전용 띠와 상부 부착구를 사용하는 C 방안 등이다.²⁾

3.3.1 방안 A

CRS가 설치되는 위치의 자동차 차체 구조의 앞쪽 2개, 뒤쪽 2개의 부착구로 이루어진 형태이다. 자동차용 좌석과 독립적으로 CRS를 유지시켜 주며, 안정감은 뛰어나지만 무겁고 조작하기가 어려운 단점이 있다. 해석 모델은 Fig. 6과 같이 CRS를 좌석 쿠션과 무관하게 구속하였으며 CRS에 가해지는 가속도에 따른 회전 및 이동이 발생하지 않도록 설계하였다.

3.3.2 방안 B

방안 A의 뒤쪽 2개의 부착구와 상부 부착장치로 구성되어 있다. 이 장치는 상부 부착구를 이용하여 조절이 가능하며 자동차용 좌석과 상당히 독립적

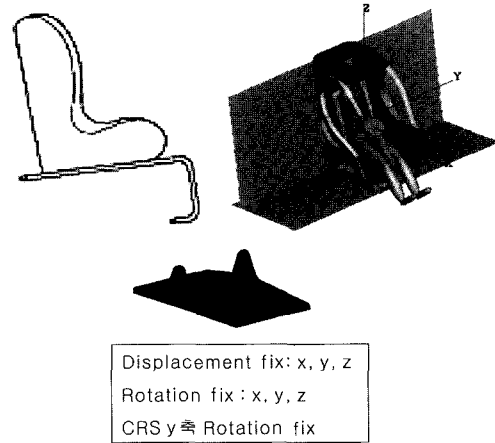


Fig. 6 Scheme A type of ISOFIX (four-point rigid attachment system)

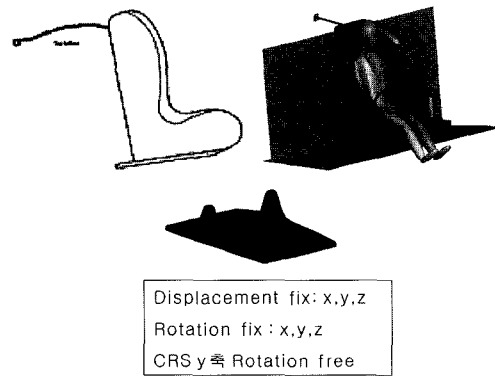


Fig. 7 Scheme B type of ISOFIX (two-point rigid attachment system with top tether)

로 CRS를 유지시켜준다. 해석시 Fig. 7과 같이 좌석 쿠션과는 무관하게 구속을 주었다. 또한 CRS 좌석부와 좌석 접촉부에 스프링 2개를 설치하여 CRS 좌석부의 회전을 허용하였으나, 상부 부착구에 의해 회전량은 조절된다.

3.3.3 방안 B'

방안 A의 뒤쪽 부착장치와 부착구를 사용하지만 스스로 단단하게 부착되는 구조이다. 뒤쪽의 2개의 부착구에 래칫 (Ratchet) 장치가 있어서 차체의 부착구 스트라이크 (Strike)에 맞물리게 되며 CRS를 눌러 약간의 하중이 가해진 상태로 고정시키는 방식이다. 자동차 좌석 특성과는 어느 정도 독립적이다.

해석시 Fig. 8과 같이 CRS는 좌석과 무관하게 구속을 주었으나 CRS 좌석부와 좌석 접촉부에 힌지 및 스프링 2개를 설치하여 일정한 량의 회전이 가능하게 하였다.

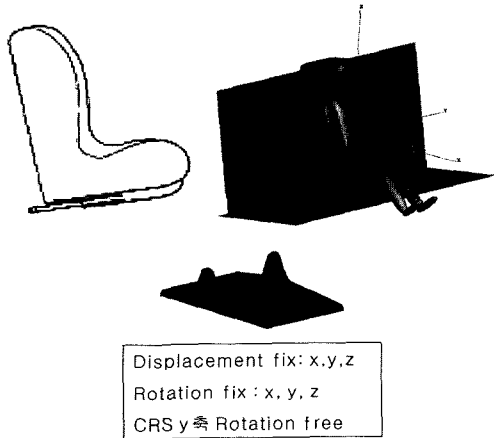


Fig. 8 Scheme B' type of ISOFIX (two-point rigid attachment system with pre-compression device)

3.3.4 방안 C

조절 가능한 전용 띠 부착장치를 좌석 등받이와 쿠션 사이를 통하여 차체의 부착구에 장착하는 하부 부착구 2개와, 방안 B의 동일하게 상부 부착구 1개를 사용하는 방식이다.

상·하부 부착장치 모두 사용자가 조절할 필요가 있지만 올바른 조절을 한 경우 CRS의 부착 성능은 자동차 좌석과는 무관하나 버클이 있어서 사용하기가 편리하다. 해석 모델의 경우 Fig. 9와 같이 CRS좌

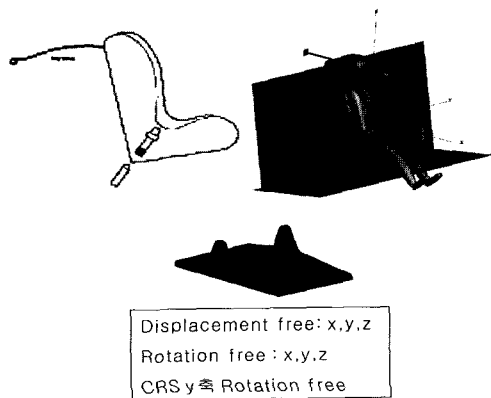


Fig. 9 Scheme C type of ISOFIX(two-point flexible attachment system with top tether)

석부와 좌석 접촉부에 스프링 2개를 설치하여 일정한 량의 회전이 가능하게 하였고 CRS의 하단을 안전띠를 이용하여 구속하였고, 좌석 접촉부와 좌석 쿠션과의 구속은 부여하지 않았다. 또한 상부 부착구에 의해 CRS의 운동이 일정량 제한되도록 설계되었다.

4. 해석결과 및 분석

4.1 CRS 고정방식에 대한 해석

다음의 Fig. 10은 ISOFIX중 방안 C의 Pam-safe를 이용한 해석 과정을 보여준다. 본 해석의 베이스라인(Baseline) 모델인 기존의 FMVSS 213 고정방식에 대한 충돌모의 시험 및 해석 결과는 Fig. 11 및 Fig. 12와 같다. Fig. 11 및 Fig. 12에서 보는 바와 같이 해

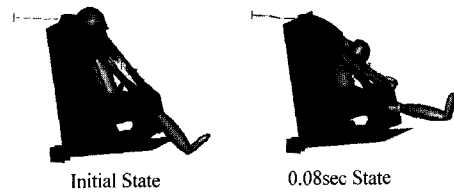


Fig. 10 Pam-safe simulation(Scheme C)

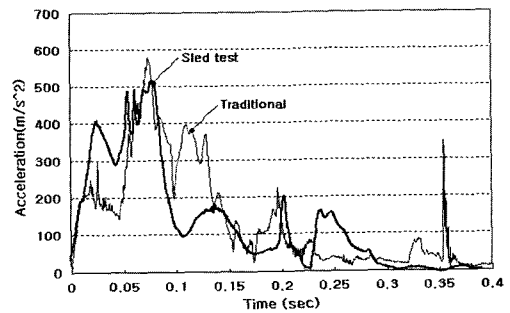


Fig. 11 Baseline model of head resultant accelerations

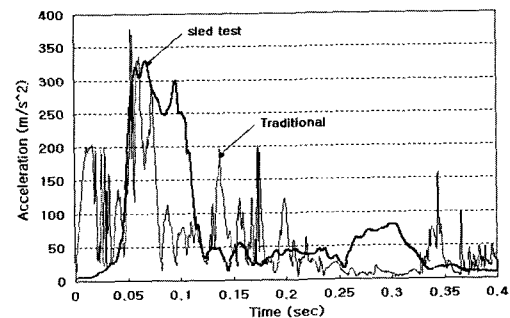


Fig. 12 Baseline model of chest resultant accelerations

CRS의 부착방식에 따른 어린이 탑승자 안전도 비교

석 모델(Sled test)의 머리 및 가슴 합성가속도 값이 시험 값(Traditional)과 일치하지는 않지만 전체 형상이 유사하므로 이를 해석의 기준으로 설정하였다.

Pam-safe를 이용한 각 ISOFIX 방안 A, B, B' 및 C에 대한 해석하여 얻은 머리합성가속도 비교 그래프는 Fig. 13, 가슴합성가속도 비교 그래프는 Fig. 14와 같으며, 결과 값은 Table 1과 같다.

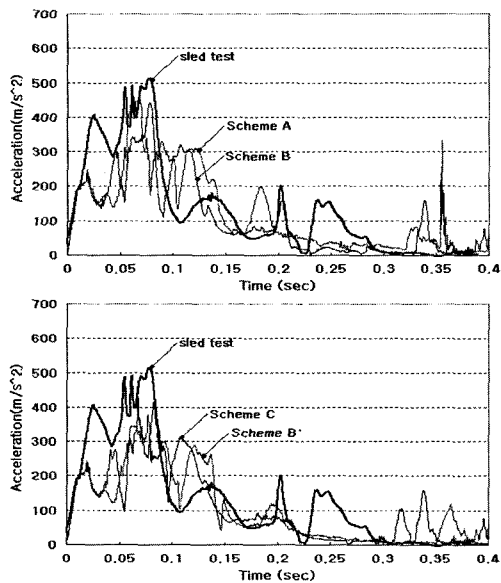


Fig. 13 Head resultant accelerations (Scheme A, B, B', C)

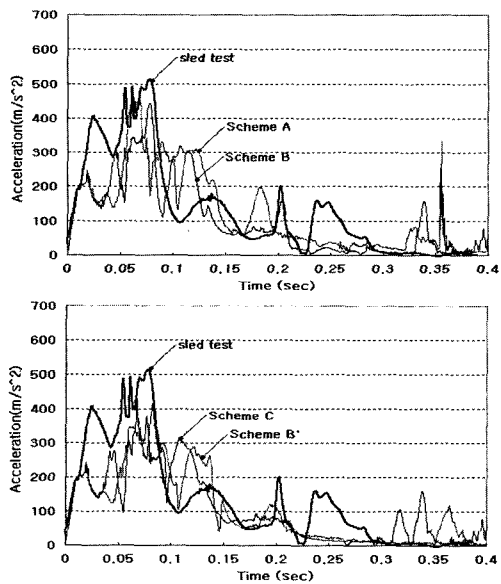


Fig. 14 Chest resultant accelerations (Scheme A, B, B', C)

또한 CRS의 안전띠 및 중앙 버클에 작용하는 주응력 값은 Fig. 15 및 Table 2와 같다.

Table 1 Injury requirements based on attachments

Injury type	Limit	Traditional	Proposed schemes from ISOFIX			
			Scheme A	Scheme B	Scheme B'	Scheme C
HIC_15msec	570	452.9	250.8	292.7	341.2	287.9
Chest G	60	37.8	28.6	32.7	23.5	26.5
Head disp. (mm)	-	368	288	306	350	309
Knee disp. (R,mm)	-	217	72	96	121	80
Knee disp. (L,mm)	-	162	72	92	124	81
Neck tension (N)	1130	590.5	727.2	880.5	1184.8	771.5
Neck comp. (N)	1380	740.4	849.6	829.9	1010.8	829.3

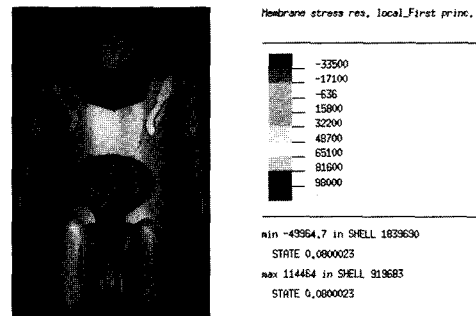


Fig. 15 CRS belt and center buckle's principal stress (Scheme C, at 0.08sec)

Table 2 CRS belt and center buckle's principal stress

At 0.08sec	Traditional	Proposed schemes from ISOFIX			
		Scheme A	Scheme B	Scheme B'	Scheme C
Principal stress (kg/m ²)	247,465	129,495	172,456	240,401	114,464

4.2 해석결과 분석 및 평가

방안 A 형태의 CRS는 부착구가 존재하여 CRS를 좌석에 완전 고정시켜 주므로 CRS의 상대운동이 제한되고 승객의 상해치 및 머리, 무릎의 이동량이 가장 작다. 방안 B의 경우 머리상해치는 상대적으로 낮은 값을 보이나 가슴상해치가 증가함을 알 수 있다. 방안 B'의 경우 CRS의 바닥면은 좌석과 무관

하게 고정되어 있으나 CRS내부의 힌지와 스프링에 의해 회전이 가능하므로 머리, 가슴 이동량 및 상해치가 동일하게 증가됨을 볼 수 있다.

또한 방안 C 형태의 고정은 CRS 하단을 안전띠로 고정하고 상부 뒷부분을 상부 부착구로 고정하여 방안 A와 비교시 약간의 CRS 이동 및 상해치가 증가하나 다른 방안과는 달리 CRS의 움직임을 조절할 수 있고 하단부 버클에 의해 장착이 용이하다. 또한 CRS 안전띠와 중앙 버클에 작용하는 주응력을 측정된 결과 머리상해치 및 가슴상해치와 비례하여 주응력이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 동일한 조건의 CRS이지만 고정방법이 어린이 승객의 안전도를 많이 좌우할 수 있다는 것을 나타낸다.

5. 결론

ISOFIX에서 제시한 방안 A, B, B' 그리고 C의 장착방법을 해석해 본 결과 ISOFIX 방안이 기존의 CRS 장착방법에 비하여 우수하며, 상해값도 양호하게 나타났다. 각각의 특성 및 결과는 다음과 같다.

1) 방안 A의 경우는 CRS가 단단한 하부 부착구 4개에 의해 차체에 고정되므로 CRS의 상대운동이 제한되어 상해치 및 이동량이 가장 낮게 나타났다.

2) 방안 B의 경우는 단단한 하부 부착구 2개와 유연한 상부 부착구 1개로 구성되어 CRS의 상부에 약간의 회전이 발생하여 머리상해치는 낮으나 가슴상해치가 상대적으로 증가하였다.

3) 방안 B'의 경우는 라쳇 장치를 갖춘 하부 부착구 2곳으로만 고정되어 CRS 전체에 약간의 회전이 발생하여 상해치 및 이동량 모두 약간 증가하였다.

4) 방안 C의 경우는 하부 부착구 2개는 안전띠에 의해 고정되고 유연한 상부 부착구 1개로 고정되어 방안 A와 비교시 상해치 및 이동량이 약간 증가하였으나 기존의 부착방식보다 우수하다. 방안 C는 다른 방안과는 달리 CRS 하단부에 버클에 의한 장착이 용이하고 비용 증가 요인이 적어 가장 우수한 방안으로 사료된다.

후 기

이 연구는 건설교통부의 2002 건설교통기술혁신사업중 어린이·보행자 보호 안전기술 연구와 한국

과학재단 지정 최적설계신기술연구센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- 1) T. Turbell, R. Lowne, B. Lundell, C. Tingvall, "ISOFIX - A New Concept of Installing Child Restraints in Cars," SAE 933085, 1993.
- 2) J. Pedder, J. Gane, D. Pasco, Deibert, M. Lumley, "Usability Trials of Alternative Child Restraint Attachment Systems," SAE 973301, 1997.
- 3) R. Lowne, P. Roy, I. Paton, "A Comparison of the Performance of Dedicated Child Restraint Attachment Systems (ISOFIX)," SAE 973302, 1997.
- 4) DOT NHTSA, RIN 2127-AG50, FMVSS Child Restraint Systems; Child Restraint Anchorage System, NHTSA, 1997.
- 5) S.-K. Hwang, K.-H. Yoon, Y.-H. Yoon, "Research Report for Child and Pedestrian," Korea Transportation Institute & Korea Automobile Test and Research Institute, 2002.
- 6) Law No. 6789, Road Transportation Law (Amended December 18, 2002), 2002.
- 7) Law No. 6315, Quality Management Industrial Product Safety Control Law(Acted July 1, 2001), 2001.
- 8) Korea Agency for Technology and Standards Notice No. 2001-376, Child Restraint Systems, July 10, 2001.
- 9) Ministry of Construction and Transportation Notice No. 279, Korea Motor Vehicle Safety Standards (Amended April 28, 2001), 2001.
- 10) NHTSA, "Types of Child Safety Seats - DOT HS809 230," NHTSA USA, May 2001.
- 11) 49 CFR, Part 571, FMVSS 213, "Child Restraint System," DOT, NHTSA, USA, 2002.
- 12) 49 CFR, Part 571, FMVSS 225, Child Restraint Anchorage Systems, DOT, NHTSA, USA, 2002.
- 13) ECE, "Regulation No. 44 - Uniform Provisions Concerning the Approval of Restraining Devices for Child Restraints of Power-Driven Vehicles," 03 series, ECE, May 2001.

Child Occupant Safety According to the ISOFIX Type of CRS

- 14) ECE, "Revised Proposal for Draft 04 Series of Amendments to Regulation No. 44(Child Restraint Systems)," ECE, June 1998.
- 15) CATIA User Manual: Version 5.8(NT Base), Dassault & CIES, 2001.
- 16) Hypermesh User Manual: Version 5.1, Altair Engineering India, 2002.
- 17) PAM-safe User Manual: Version 2001, Pam System International S.A., 2001.
- 18) Y. J. Shin, H.-Y. Kim, "Performance of Child Restraint System under Crash Environment," HANPAM, 2001.
- 19) H.-W. Park, Y.-H. Youn, J.-W. Lee, K.-H. Yoon, Y.-T. Choi, "A Study of Child Safety on Various Child Restraint Systems," 2002 KSAE Spring Conference Proceeding, 2002.
- 20) Y.-H. Youn, J.-W. Lee, J.-H. Jeon, J.-E. Yang, J.-S. Lee, "A Study on Child Occupant Safety According to the Child Restraint Attachment Types," Spring Conference of KSAE, 2002.