

안전한 유모차를 위한 탈부착식 브레이크 시스템의 구조설계

Structural Design of Detachable Brake System for Safe Stroller

권승호¹, 김성관^{1,#}Seung Ho Kwon¹ and Sung Gaun Kim^{1,#}

1 공주대학교 기계자동차공학부 기계공학전공 (Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University)

Corresponding Author / E-mail: kimsg@kongju.ac.kr, TEL: +82-41-521-9253

ORCID: 0009-0008-1934-773X

KEYWORDS: Stroller brake system (유모차 브레이크 시스템), Structural design (구조설계)

Safety accidents related to falls and collisions involving strollers occur every year. To address this issue, an automatic brake system has been developed and tested for strollers. Previous systems were only functionally verified and did not confirm structural safety until the brakes were activated and came to a stop. Given that this system is a safety-critical device, a prototype was manufactured and tested to ensure the device's safety during brake operation. Additionally, structural analysis was conducted using the collected data to identify potential vulnerabilities.

Manuscript received: June 12, 2024 / Revised: November 27, 2024 / Accepted: December 26, 2024

NOMENCLATURE

P	=	Braking Force
F	=	Friction Force
σ	=	Equivalent Stress
Δ	=	Total Deformation
F	=	Axial Force
EA	=	Axial Rigidity

1. 서론

유모차 안전사고가 매년 발생하고 있고, 유아에게 발생하는 전체 안전사고 비율 중 8%로 높은 비율을 차지하고 있다[1-4]. 한국소비자원 위해감시시스템에서 조사한 결과에 따르면 대역용 유모차 안전사고 비율 중 추락 및 낙상이 50%를 차지하고 있고, 2019-2023년까지 발생한 유모차 안전사고는 총 1,206건으로

2023년에는 전년 대비 18.6%가 증가하였다[2,4]. 내리막길에서 유모차에 풋 브레이크가 장착이 되어 있음에도 기능이 원활하게 작동하지 않거나 수동으로 잡아야 하기 때문에 사고가 발생한 것으로 추정된다[2]. 유모차 충돌 및 낙상사고를 예방하기 위해서 유모차에 추가로 장착하는 브레이크 시스템이 연구 및 개발되었다[5-12]. 하지만 위 시스템들은 브레이크의 기능적인 부분만 연구되었고 브레이크가 작동하고 멈출 때까지 시스템의 구조적인 안전성은 확인하지 않았다. 그리고 현재 판매 중인 자동 브레이크 시스템이 탑재된 유모차는 일체형이고 높은 가격대를 형성하고 있어, 아이가 성장해 감에 따라 유모차를 변경하여야 하는데 매년 비싼 유모차를 구매하기에는 경제적인 어려움이 있을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 어느 유모차에나 설치를 위해 탈부착식 및 길이 조절이 가능하도록 프레임을 설계하였고, 브레이크가 작동하고 유모차가 멈출 때까지 프레임의 구조적인 안전성을 확인하기 위해 구조해석을 진행하였다. Ansys 구조해석을 통해 Equivalent Stress와 Total Deformation을 계산하고 시스템의 취약 부위와 안전성을 확인하였다.

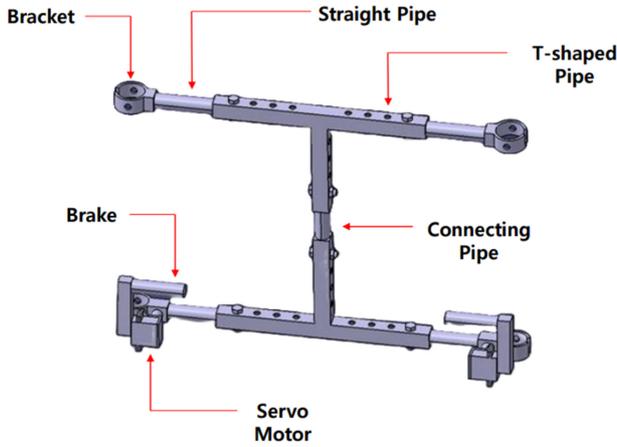


Fig. 1 Structure of detachable brake system



Fig. 2 A stroller equipped with a braking system

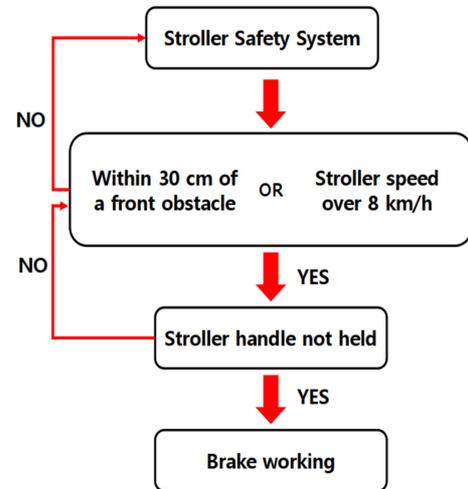


Fig. 3 Flow chart of brake system



Fig. 4 Prototype development

2. 본론

2.1 탈부착식 브레이크 시스템 모델링

Fig. 1은 탈부착이 가능하도록 설계된 유모차 브레이크 프레임의 상세설계를 나타낸다. 네 군데에서 브라켓을 통해 유모차와 결합하고, T자형 파이프, 연결 파이프, 일자형 파이프를 나사와 볼트로 체결하여 길이 조절이 가능하도록 설계하였다. 하단부에 서보모터와 브레이크 패드를 장착하여 브레이크가 작동하도록 하였다. Fig. 2의 개괄도와 같이 네 군데의 브라켓으로 고정하여 브레이크가 작동하여도 하중을 분산하고 안정적으로 체결되도록 설계하였다.

Fig. 3은 유모차 브레이크 시스템의 작동 과정을 나타낸다. 유모차의 속도가 8 km/h 이상이거나, 전방 30 cm 이내에 장애물이 인식될 때 유모차 손잡이를 잡고 있지 않다면 브레이크가 작동한다. 성인의 평균 보행 속도가 4.5 km/h이기 때문에 브레이크가 작동하는 속도를 8 km/h로 설정되었다.

2.2 탈부착식 브레이크 시스템 제작

Fig. 4는 프로토타입의 탈부착식 브레이크 시스템이 장착된

유모차의 모습이다. Fig. 2의 장착도처럼 브라켓을 통해 네 군데에서 유모차를 고정하고 T자형 파이프, 일자형 파이프, 연결 파이프를 나사와 볼트를 사용하여 길이조절이 가능하도록 제작되었다.

프로토타입을 통해 30°의 경사각을 갖는 내리막길과 10°의 경사각에서 전방에 장애물을 배치하여 기능적인 부분을 테스트 하였다. 2세 아기의 평균 몸무게인 11 kg의 무게를 추가 보정하여 내리막길에서 유모차를 놓치는 상황을 재현하였고 브레이크 시스템이 정상적으로 작동하는 것이 확인되었다.

ISO31110 기준에 따르면 9, 12° 경사각에서 주차 브레이크가 작동하였을 때 5분간 정지되어야 한다고 나타나 있다[13]. 위 기준은 유모차가 멈춰있는 정적인 상태의 기준이고, 움직이는 동적인 상태에서의 브레이크 기준은 명시되어 있지 않아, 30° 경사각에서 8 km/h가 넘는 극한상황에서 Roll Over 되는 현상을 예방하기 위해 유모차 평균 축간 거리의 절반인 30 cm의 제동 거리와 0.5 s 이내에 멈추도록 설계되었다.

Fig. 4는 30°의 경사각과 전방에 장애물이 놓여있는 10°의 경사각에서 유모차를 놓치는 극한상황에서 브레이크가 작동하고

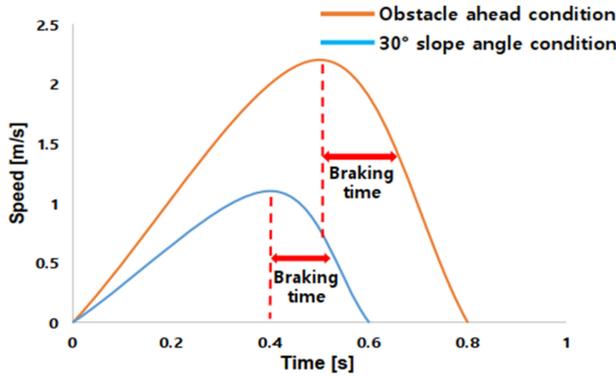


Fig. 5 Speed of stroller

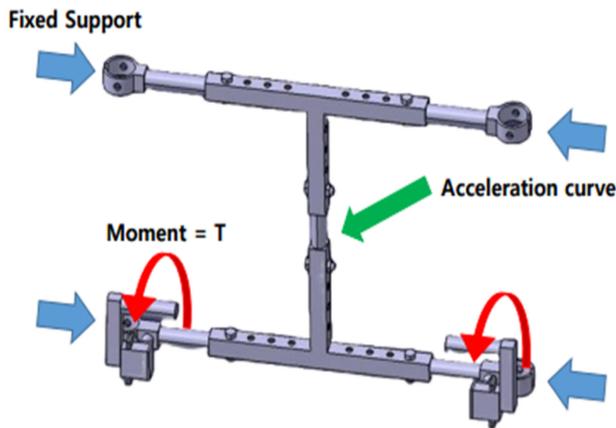


Fig. 6 Boundary condition

멈추는 과정에서 유모차의 속도를 보여준다. 목표로 한 0.5 s, 30 cm 이내에 유모차가 멈추는 것을 확인하였고, 극한 상황을 위해 설계되었으므로 브레이크의 기능 여부를 우선으로 하였다.

2.3 구조해석 경계조건

Fig. 6은 구조해석을 위해 유모차 브레이크 프레임에 적용된 경계조건을 나타낸다. 유모차에 장착되어 있는 구조와 모터로 인해 브레이크가 작동하므로 모터의 힘인 토크와, 브레이크가 작동하고 멈추는 과정에서 걸리는 가속도 커브가 고려되었다.

유모차와 프레임의 고정 부위인 네 군데의 브라켓은 볼트체결로 인하여 완전히 고정된 상태이므로 Fixed Support가 적용되었다. 파이프 간의 접촉은 0.45의 마찰계수를, 파이프와 나사의 결합부는 0.5의 마찰계수가 적용되었다. 모터가 회전하는 힘인 토크로 브레이크가 제동되므로 프로토타입에서 사용된 모터의 토크인 $T = 2 \text{ N}\cdot\text{m}$ 가 하단 양옆에 있는 모터와 브레이크 패드에 적용되었다.

식(1)을 통해 유모차의 초기 속도 $v_0^2 = 8 \text{ km/h}$ 에서 제동거리 30 cm로 정지하기 위한 가속도 $a_x = -8.214 \text{ m/s}^2$ 이 도출되었다.

$$2as = v^2 - v_0^2 \tag{1}$$

식(2)와 식(3)을 통해 -8.214 m/s^2 의 가속도로 멈추기 위해

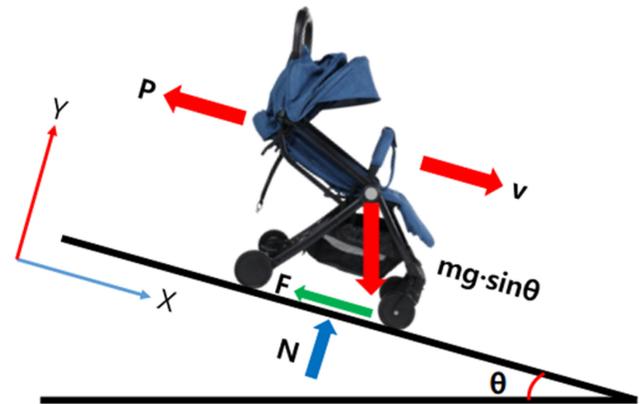


Fig. 7 Force action on the stroller

Table 1 Properties of materials

Physical properties	PVC	Steel
Density (g/cm^3)	1.51	7.85
Friction coefficient	0.45	0.5
Poisson's ratio	0.37	0.3
Young's modulus (MPa)	2726	200×10^3
Tensile strength (MPa)	55	460

요구되는 브레이크의 힘 P가 도출되었다. 유아가 탑승한 유모차의 무게 m 을 20 kg, 건조한 지면과 타이어의 마찰계수를 0.75로 고려되었다. y 방향 힘의 평형방정식인 식(2)를 통해 유모차와 지면과의 수직방향 반력 N이 169.6 N으로 계산되었다.

$$N - mg \cdot \cos \theta = 0 \tag{2}$$

식(3)에서 $F = \mu N$ 이고, 식(1)과 식(2)를 통해 계산된 a_x 와 N을 x 방향의 힘의 평형방정식인 식(3)에 적용하여 유모차가 제동하기 위한 브레이크의 힘 P가 143.4 N으로 도출되었다.

$$mg \cdot \sin \theta - P - F = ma_x \tag{3}$$

식(2)와 식(3)을 통해 -8.214 m/s^2 의 가속도로 멈추기 위해 요구되는 브레이크의 힘 P가 도출되었다. 브레이크 팔길이는 0.03 m로 설계되었고, 따라서 $4 \text{ N}\cdot\text{m}$ 의 토크가 요구된다. 두 개의 모터를 사용하여 브레이크를 제어하므로 각각의 모터는 $2 \text{ N}\cdot\text{m}$ 로 설정되었다.

파이프와 브레이크 파트는 PVC를 나사와 볼트는 Steel이 사용되었다. 사용된 재료의 물성은 Table 1과 같이 나타난다.

3. 구조해석

3.1 Total Deformation

Fig. 7은 구조해석을 통해 계산된 Total Deformation의 결과이고, 변형량의 값은 Table 2에 나타난다.

Table 2 Total deformation

Maximum (mm)	0.62834
Average (mm)	0.62341

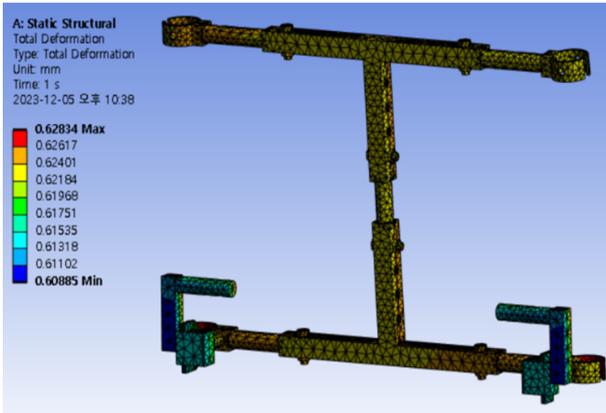


Fig. 8 Total deformation

$$\Delta = \int_0^L \frac{F}{EA} dx \tag{4}$$

Total Deformation은 식(4)처럼 Force와 Axial Rigidity의 비를 통해 구해진다. 구조해석을 통해 변형률의 최댓값은 0.62834 mm 이고, 하단부 T자형 파이프와 브레이크가 연결된 프레임의 체결 부위에서 최대로 측정되었다. 해당 체결 부의 직경은 20 mm이고 3%의 변형이 일어난 것으로 확인되었다. ISO 286 기준에 따라 기계 부품에서의 공차는 최대 5%까지 허용되고, 위 기준에 부합하므로 구조적으로 안정하다는 것이 확인되었다[14].

3.2 Equivalent Stress

Fig. 9는 Equivalent Stress의 결과를 보여주고, Table 3은 Equivalent Stress의 결과값을 나타낸다. Equivalent Stress는 식(5)와 같이 외력에 의한 내력을 3축 성분으로 계산하고, 1축 성분으로 변환하여 도출된다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\sigma_{xy} + \sigma_{yz} + \sigma_{zx})^2}{2}} \tag{5}$$

최대 Equivalent Stress 값이 0.512 MPa로 계산되었고, 이는 PVC의 인장강도인 55 MPa보다 93% 낮은 수치임이 확인되었다. 설계에서의 안전율인 1.5를 고려하여도 최대 0.768 MPa가 시스템에 작용되므로 브레이크 시스템이 작동하고 제동하는 과정에서 구조적으로 안전하다고 판단된다.

Fig. 10은 Equivalent Stress가 최대로 계산된 부분이다. 탈부착식 브레이크 프레임 아랫부분 쪽 T형 파이프와 일자 파이프를 체결해주는 볼트와 너트와 해당 연결구멍에 Equivalent Stress가 최댓값으로 계산되었다.

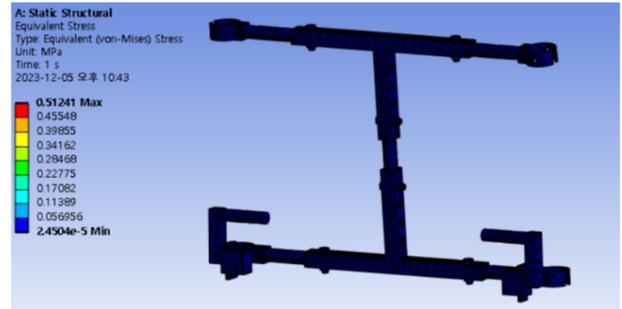


Fig. 9 Equivalent stress

Table 3 Equivalent stress

Maximum (MPa)	0.512
Average (MPa)	1.122×10^{-2}

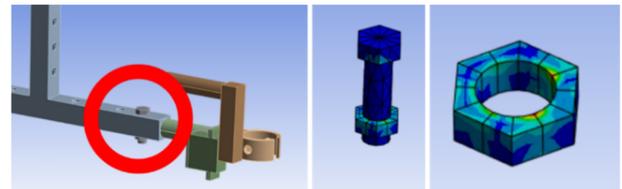


Fig. 10 Part of max equivalent stress

4. 결론

본 논문에서는 안전한 유모차를 위한 탈부착식 브레이크 시스템의 구조설계, 개발 및 연구를 진행하였다. 프로토타입 제작과 브레이크의 기능 실험을 통해 브레이크 시스템의 구동과정과 안전성을 테스트하였다. 30°의 경사각에서 25 cm의 제동거리 내에 멈추는 것을 확인하여 기능적으로 잘 작동한다는 것을 검증하였다. 이뿐만 아니라 이처럼 안전성을 요구하는 시스템을 검증하기 위해 Ansys 를 통해 구조해석을 진행하였다. 브레이크 시스템이 작동하고 유모차가 멈추는 과정에서 프레임에 가해지는 외력과 그로 인해 발생하는 내력을 Equivalent Stress로 계산하였고, 사용된 재료의 항복강도와 비교를 통해 구조적으로 안전하다는 것을 확인하였다. 위 시스템은 구조적으로 안전하지만 브레이크가 장착된 프레임과 T자형 프레임 간의 볼트, 너트 체결부가 가장 취약하다는 것을 확인하였다. 높은 수준의 안전성을 요구하는 장치이므로 체결 부위에 작용하는 응력집중 개선을 위한 후속 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 과제(결과물)는 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다(No. 2021RIS-004).

REFERENCES

1. Consumer Injury Surveillance System (CISS), (2009), Survey on safety accidents of stroller, (Report No.201000223-3). <https://www.isafe.go.kr/children/selectBbsNttView.do?key=506&bbsNo=101&nttNo=8431&searchCtgr=&searchCnd=SJ&searchKrwd=%EC%9C%A0%EB%AA%A8%EC%B0%A8&pageIndex=1&pageUnit=10&integrDeptCode=>
2. Consumer Injury Surveillance System (CISS), (2006), Safety Survey on rental stroller. <https://www.isafe.go.kr/children/selectBbsNttView.do?key=506&bbsNo=101&nttNo=8407&searchCtgr=&searchCnd=SJ&searchKrwd=%EC%9C%A0%EB%AA%A8%EC%B0%A8&pageIndex=1&pageUnit=10&integrDeptCode=>
3. Consumer Injury Surveillance System (CISS), (2022), Analysis of trends in child safety accidents in 2021. <https://www.kca.go.kr/smartconsumer/board/download.do?menukey=7301&fno=10034133&bid=00000146&did=1003319632>
4. Korea Agency for Technology and Standards, Korea Consumer Agency, (2024), Be careful of safety accidents in strollers during spring outings. <https://www.kats.go.kr/content.do?cmsid=240&cid=24435&mode=view>
5. Hong, Y.-J., Hwang, Y.-S., Hong, J.-H., Sin, D., (2022), The automatic brake system for strollers to prevent falls and rolling accidents, Journal of Korean Institute of Intelligent System, 32(5), 408-415.
6. Min, B.-G., Park, G.-W., Park, J.-B., Kim, H.-A., Ko, Y.-S., (2017), Automatic brake system for stroller using gyro sensor, The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, 12(4), 599-606.
7. Kim, J. Y., Jung, B.-K., (2015), An automatic sensor brake system for a multiple moving apparatus to help prevent slipping accidents on sloping roads: A usability test and its results, Journal of Integrated Design Research, 14(3), 107-116.
8. Jeong, Y. I., Song, W. G., Shin, J. S., Lee, S. H., (2023), A study on automatic brake system of stroller using gyro sensor and encoder, Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering, 163.
9. Bae, S. W., Kim, J. Y., Yun, S. H., Jang, H. Y., (2022), Design and manufacture of brake release type stroller system using worm gear motor, Proceedings of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Spring Conference, 358-359.
10. Kim, M. H., Kim, J. W., Kim, S. Y., Park, J. Y., Park, M. S., Kim, J. R., Jo, S. W., Kim, H. J., Kim, N. K., (2010), Development of an automatic brake system for stroller, Proceedings of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, 123-124.
11. Kim, H. M., Chae, M. G., Lee, J. W., Jeong, J. W., Lee, H. D., Jeong, H. T., (2021), Automatic speed control smart stroller, Proceedings of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Spring Conference, 330.
12. Lee, J. Y., Kim, S. Y., Lee, J. H., Kim, H. M., Beak, J. H., Lyu, S. K., (2019), Smart stroller with arduino, Proceedings of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, 280.
13. ISO31110, (2020), Wheeled child conveyances - Pushchairs and prams - Requirements and test methods.
14. ISO286, (2010), Geometrical product specifications – ISO code system for tolerances on linear sizes.

**Seung Ho Kwon**

M.Sc. candidate in the Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University. His research interest is Mechanical Engineering.
E-mail: rnjstmdgh158@naver.com

**Sung Gaun Kim**

Professor in the Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University. His interest are Robotics, AI based Control, Optimal Design for Mechatronics System.
E-mail: kimsg@kongju.ac.kr