

경사면 보정 장치의 구조 설계에 관한 연구

김정화*, 이도영**,#

*한국폴리텍대학 항공캠퍼스 항공메카트로닉스과, **한국폴리텍대학 창원캠퍼스 컴퓨터응용기계설계과

Structural Design of Slope Correction Device

Jeong-Hwa Kim*, Do-Yeong Lee**,#

*Aeronautical Mechatronics Department, Korea Polytechnic College Aviation Campus, **Computer

Aided Mechanical Design Department, Korea Polytechnic College Changwon Campus

(Received 21 September 2020; received in revised form 17 November 2020; accepted 30 November 2020)

ABSTRACT

This paper presents an optimized design technique that can satisfy the design input values. Numerical analysis was performed on the slope correction device based on the first design. The stress distribution was confirmed when the load specified as the design input value was applied, and design changes were introduced for parts for which the design safety factor did not meet the standard to ensure rigidity. And the results were verified through FEA.

Key Words : Slope Correction Device(경사면 보정 장치), Finite Elements Analysis(유한요소해석), Optimization Design(최적화 설계), Numerical Analysis(수치 해석)

1. 서 론

일반적으로 교량은 하천이나 계곡, 강, 바다 등을 건너거나 도로, 철도 등 기존의 구조물을 통과할 목적으로 만들어지는 구조물이다. 모듈 형 임시 교량 역시 이와 크게 다르지 않으나, 필요 시 교량의 가설 및 회수를 용이하도록 만들기 위해 모듈화 하여 설치 시 조립하는 형태의 교량으로, 자연재해로 도로와 다리 등이 끊겼을 때 동원되는 장비이며, 필요한 곳에 빠르게 설치하고, 해체할 수 있는 기계식 장비이다. 경사면 보정 장치는 이러한 모듈 형 임시 교량을 가설할 때, 지면에서 모듈 형 교량의 가설 빔을 지지해 주는 장치로,

가설 시 높은 하중이 가해지며, 지면이 평탄하지 못함으로 인한 하중의쏠림, 설치 시 충격 등으로 파손될 위험성이 있으며, 이에 대한 안정성 검토가 반드시 필요하다. 따라서 초기 설계 단계에서 경사면 보정 장치의 하중을 고려하여 수치해석을 진행하여 안정성 평가를 하고, 여러 응력, 질량을 고려한 최적화 설계를 진행하고자 하였다. 본 연구에서는 경사면 보정 장치의 초기 설계에 대한 수치해석을 실시하여, 안정성 평가를 실시하고, 설계변경을 통한 충분한 강성을 확보한 후 수치해석을 통해 추가적인 검증을 통해 안정성을 확인하고자 한다.^[1]

그리고 본 연구 결과를 바탕으로 위상최적화 해석을 이용하여 강성은 유지하고, 질량을 최소화 하는 최적화 설계를 통한 연구를 이어나갈 예정이다.

Corresponding Author : powersid@kopo.ac.kr

Tel: +82-55-830-3465, Fax: +82-55-830-3414

2. 지배 방정식

일반적으로 구조해석에서 사용하는 지배방정식은 식(1)과 같이 정의되며, 식 (1)의 $M\ddot{u}(t)$ 는 관성력(inertial force), $C\dot{u}(t)$ 는 감쇠력(damping force), $Ku(t)$ 는 복원력(spring force)이다. 식 (1)은 관성력과 감쇠력을 포함하고, 하중이 시간에 따라 변화할 수 있는 일반적인 동적 거동을 나타내는 운동방정식으로 동 해석(dynamic analysis)을 할 때 식 (1)을 지배 방정식으로 하여 계산을 한다. 하지만 본 연구에서는 동적거동을 표현하는 특성인 관성력과 감쇠력을 무시하고, 작용하중이 시간에 따라 변하지 않는 해석인 정적 해석(static analysis)을 수행 할 것이다. 관성력과 감쇠력이 무시가 되고, 작용하중이 시간에 따라 변화하지 않으므로 정적해석의 지배 방정식은 식(2)와 같이 표현할 수 있다. 정적해석에서는 구조물이 정적인 평형상태를 유지하여야 하므로, 하중이 동적인 효과를 유발하지 않도록 아주 천천히 가해지는 것으로 가정으로 한다. 현업에서는 작용하중(실제로는 반복하중, cycle load)의 진동수가 구조물의 가장 낮은 고유진동수의 1/4이하이면 정적하중으로 취급한다.

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = P(t) \quad (1)$$

M = 질량, C = 감쇠계수

$u(t)$ = 변위, $P(t)$ = 외력

$$Ku = P \quad (2)$$

K = 강성행렬, u = 변위절점벡터

P = 하중 벡터

3. 초기 설계 모델의 수치해석

3.1 해석조건 및 방법

수치해석을 위해 CATIA V5를 이용하여 간략화

모델을 Fig. 1과 같이 설계하였다. 간략화 모델이란 수치해석에서 관심영역이 아닌 불필요한 형상을 제거하거나, 해석에 필요한 일부 형상만 사용하여 대상 모델을 심플하게 만드는 것이다.^[2] 이러한 모델 간략화를 통해 요소망의 절점과 요소 수를 줄일 수 있어 해석 시간을 줄일 수 있고, 형상이 심플해지는 것으로 인해 요소망의 품질을 향상시킬 수 있다. 그러므로 수치해석에서 대상 모델의 간략화 작업은 필수적이다.

Fig. 2는 간략화 된 경사면 보정 장치 모델의 요소 망 형상이다. 육면체 요소 망을 적용하였고, 요소 수는 2,221,983개, 절점 수는 2,091,380개이다. 그리고 부품 간 연결부위는 모델 간략화를 위해 관심영역을 제외한 나머지 부위를 모두 강체요소를 사용하여 연결하였다. Fig. 3은 강체요소로 연결된 부위를 나타내었다. 또 경사면 보정 장치의 재질은 판재 소재는 스웨덴의 SSAB사의 제품인 구조용 고 장력 철강재인 Strenx 1100을 사용하였고, 그 외 소재는 SCM440을 사용하였다. 해당 재질의 물성치는 Table 1과 같다.

경계 조건 중 구속 조건은 경사 보정 장치의 하부 지지판과 지면이 맞닿는 면을 고정하였고, 접촉 조건은 사이드 바의 유압실린더와 로드가 접촉되는 부위, 장치 상단의 핀과 조립이 되는 부품은 일체거동 접촉조건을 부여하였고, 나머지 접촉부위는 모두 양 방향 미끄러짐 접촉구속을 부여하였다. Fig. 4는 일체거동 접촉을 부여한 부분이며, Fig. 5는 양 방향 미끄러짐 접촉 조건을 부여한 부분이다. 그리고 경사면 보정 장치에 가해지는 하중은 30,000kg_f이며, 리모트 하중을 부여하여 처리하였다. Fig. 6은 경사면 보정 장치에 가해지는 하중의 위치를 나타낸 것이다.

Table 1 Property of material used

Material name	Young's modulus	Poisson's ratio	Density	Yield Stress
Strenx 1100	206 GPa	0.291	7.86g/cm ³	1,100 MPa
SCM440	210 GPa	0.3	7.86g/cm ³	850 MPa

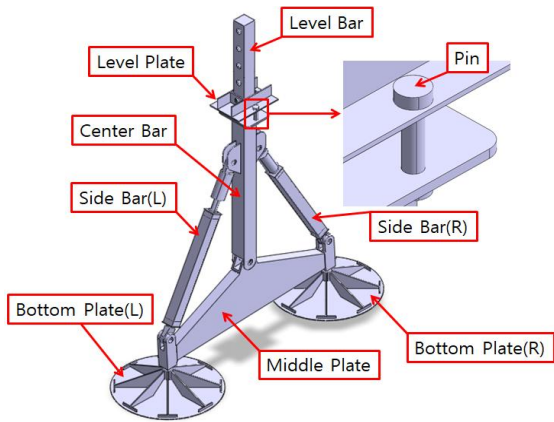


Fig. 1 Simplified model of slope correction device

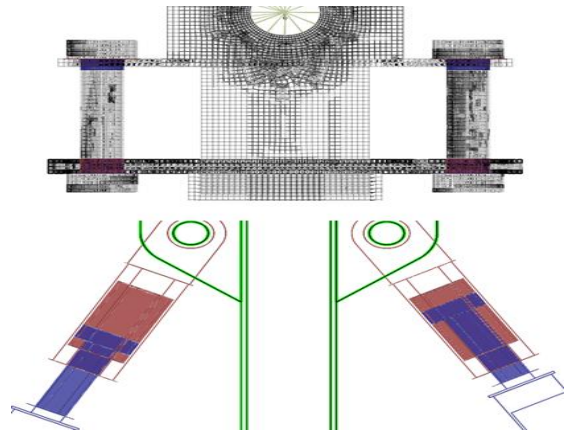


Fig. 4 Contact condition of slope correction device (Welded)

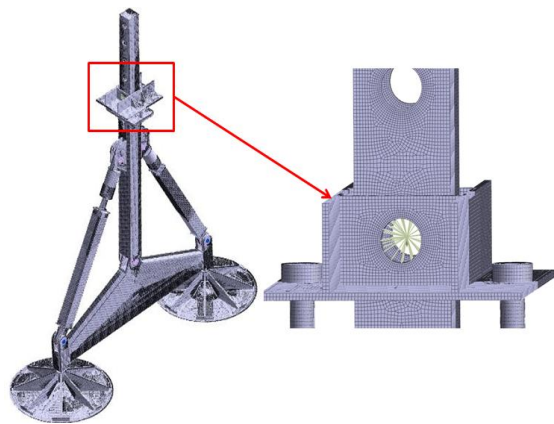


Fig. 2 Mesh of slope correction device

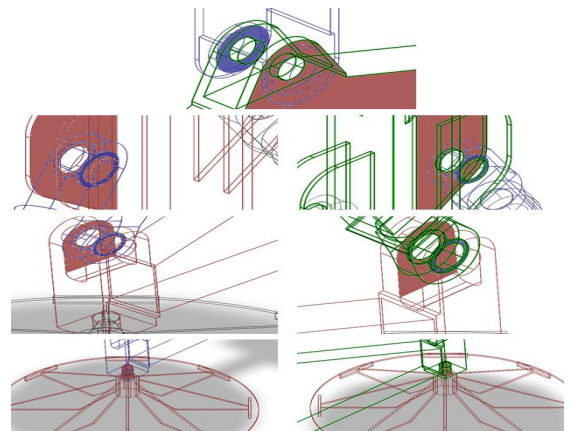


Fig. 5 Contact condition of slope correction device (Bidirectional sliding)

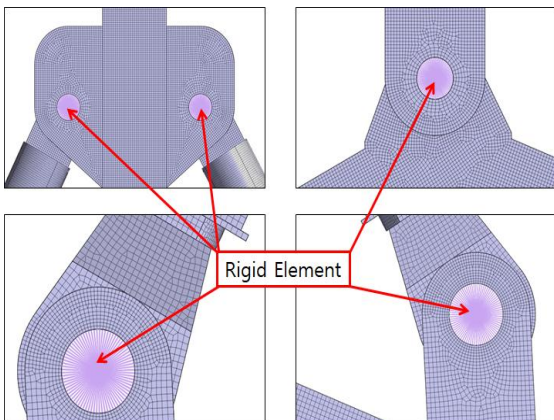


Fig. 3 Rigid body elements for simplification

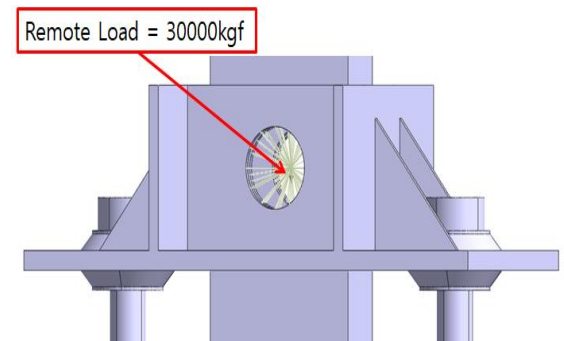


Fig. 6 Load condition of slope correction device

3.2 해석 결과 및 분석

경사 면 보정 장치의 특성 상 사용 중에 충격하중이 가해질 확률이 높다. 충격 응력과 정적 응력에 대한 관계식을 유도하기 위한 기본 공식은 식 (3)과 식 (4)와 같다.

$$E_p = mgH = WH = W(h + \delta) \quad (3)$$

E_p = 위치에너지, H = 변형후 높이
 h = 변형전 높이, δ = 변형량

$$U = \frac{\sigma^2 Al}{2E} \quad (4)$$

U = 탄성에너지, σ = 충격 응력

에너지 보존법칙에 의해 식 (3)과 식 (4)는 식 (5)와 같이 성립이 되며, 식 (5)를 정리하면 식 (6)과 같은 σ 에 대한 2차 방정식이 된다. 이 방정식은 식 (7)과 같은 해가 도출되며 $1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_0}}$ 은 동적계수이다. 여기서 h 에 0을 대입하면 동적계수는 2가 되므로 충격응력은 정적응력의 최소 2배임을 알 수 있고, 식 (8)이 성립된다.

$$U = E_p \quad (5)$$

$$Al\sigma^2 - 2Wl\sigma - 2EWh = 0 \quad (6)$$

$$\sigma = \sigma_0 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_0}} \right) \quad (7)$$

σ = 충격 응력, σ_0 = 정적 응력

$$\sigma \geq 2\sigma_0 \quad (8)$$

그러므로 경사 면 보정 장치의 설계 상 안전계수는 최소 2.0을 목표로 한다.

Fig. 7은 경사면 보정 장치의 정적 선형 해석 결과이다. 본 연구의 대상인 경사 면 보정 장치에 적용된 소재는 연성 소재들 이므로 최대 비틀림 에너지 이론을 기반으로 한 등가 응력(Von Mises Stress)으로 해석 결과를 표현하였다. 해석 결과 최대 응력 집중 부위는 1903MPa 가량의 응력이 발생하였고, 취약 부위 설계 안전율은 0.433이 나왔다. 자세한 분석을 위해 부품 별로 응력분포를 확인 하였다. 해석 결과 및 안전율은 Fig.7과 같으며, 부품 별 해석 결과는 Table 2와 같다.

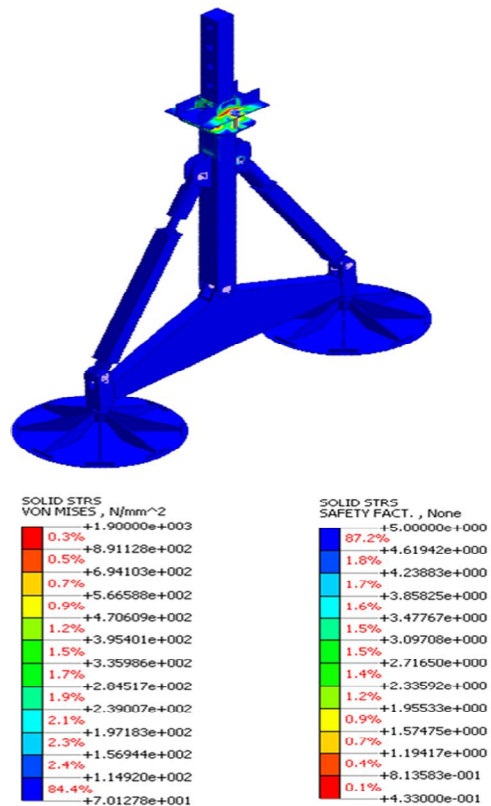


Fig. 7 Numerical analysis results for initial design (Von mises stress and safety factor)

Table 2 Numerical analysis results for each part

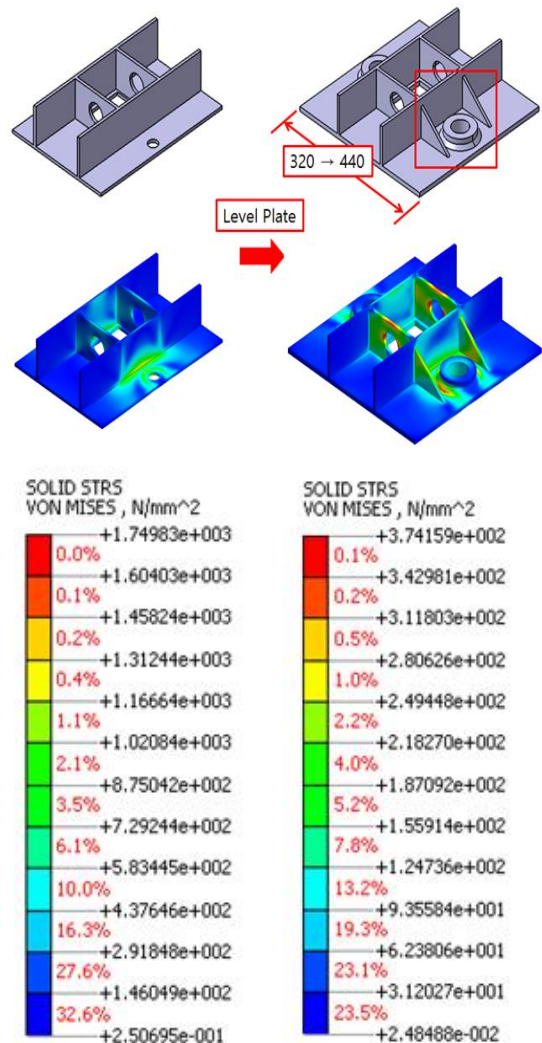
Part Name	Material	Von mises stress	Safy factor
Level Bar	Strenx1100	0.012 MPa	
Level Plate	Strenx1100	1,749 MPa	0.686
Center Bar	Strenx1100	1,766 MPa	0.715
Pin (F)	SCM440	1,788 MPa	0.461
Pin (R)	SCM440	1,903 MPa	0.433
Side Bar (L)	Strenx1100	83.3 MPa	13.2
Side Bar (R)	Strenx1100	78.6 MPa	14.2
Middle Plate	Strenx1100	156 MPa	7.19
Bottom Plate (L)	Strenx1100	231 MPa	5.02
Bottom Plate (R)	Strenx1100	208 MPa	5.54

4. 구조 개선 검토

Table.2의 부품 별 경사 면 보정 장치의 해석 결과를 보면 Level Plate, Pin(F), Pin(R), Center Bar 4개 부품의 응력이 항복강도를 초과하여 안전을 1.0 미만이었다. 그래서 형상 변경을 통하여 강성을 확보하고자 하였고, 목표는 안전율 2.0이상으로 하였다. Fig. 8은 Level Plate에 대한 구조개선 검토 결과이다. 강성 확보를 위해 보강 판을 추가 하였고, 그로 인해 공간적인 문제가 발생하여 가로 방향 형상 길이를 더 확보하였다. 그리고 Pin(F)와 Pin(R)의 직경이 굵어져서 구멍의 크기를 키웠고, Pin 조립 구멍 근처에 응력이 집중되는 현상을 보여서 보강을 실시하였다. 설계 변경 후 해석 결과 형상에 의한 강성 증가로 인해 설계 안전율을 0.686 → 2.98로 향상시켰다. Fig. 9는 Center Bar에 대한 구조개선 검토 결과이다. 강성 확보를 위해 핀과 접촉하는 판재의 두께를 추가 확보하였고, 보강 판을 추가 하여 강성을 높였다. 그로 인해 설계 안전율을 0.715 → 4.03으로 향상시켰다. Fig. 10 과 11은 Pin에 대한 구조 개선 검토 결과이다. Level Plate와 Center Bar의 설계 변경으로 인해 Pin의 길이가 더 길어졌고, 강성 확

보를 위해 핀의 직경을 늘렸다. 그 결과 설계 안전율 2.0 이상을 확보할 수 있었다.

Fig. 12는 구조 개선 검토가 끝난 경사 면 보정 장치에 대한 전체의 수치해석 결과이다. 해석 결과 최대 응력 집중 부위는 445 MPa 가량의 응력이 발생하였다. Table 3은 설계 변경된 부품에 대한 결과를 정리한 것이다. 내용을 보면 Part의 최소 설계 안전율은 2.01이며, 본 연구에서 원하는 설계 목표를 달성한 것을 알 수 있다.

**Fig. 8 Design change review result for level plate**

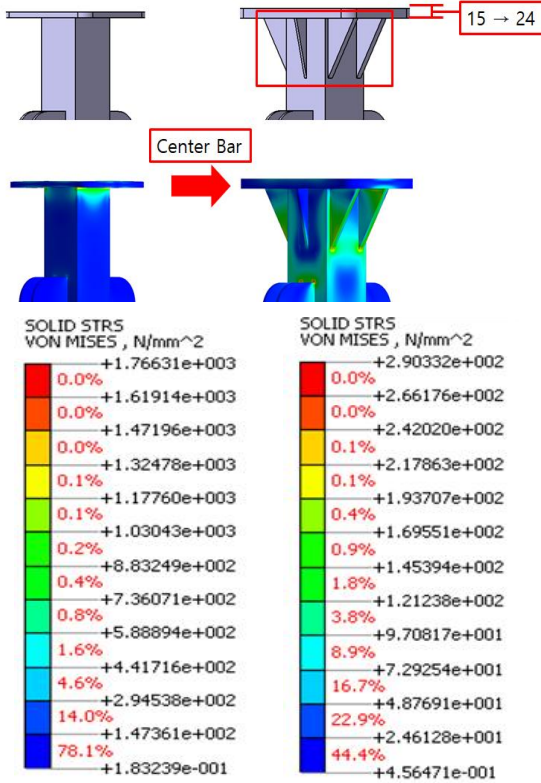


Fig. 9 Design change review result for Center Bar

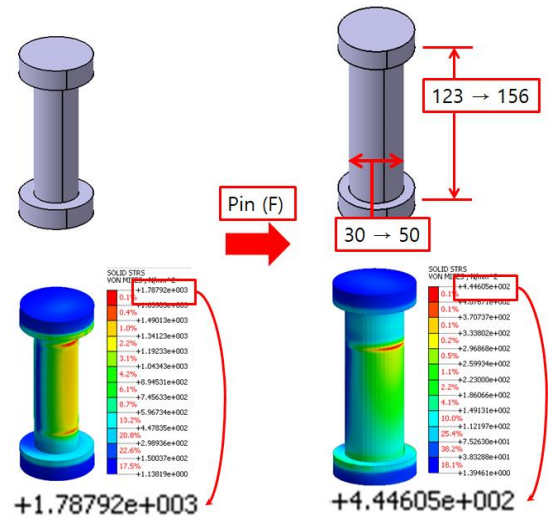


Fig. 11 Design change review result for Pin(F)

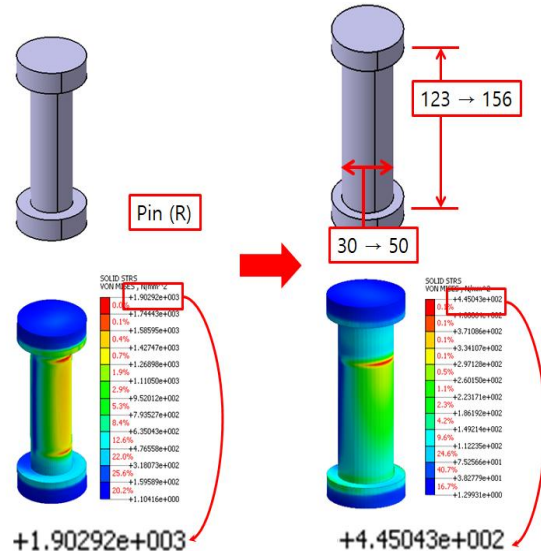


Fig. 10 Design change review result for Pin(R)

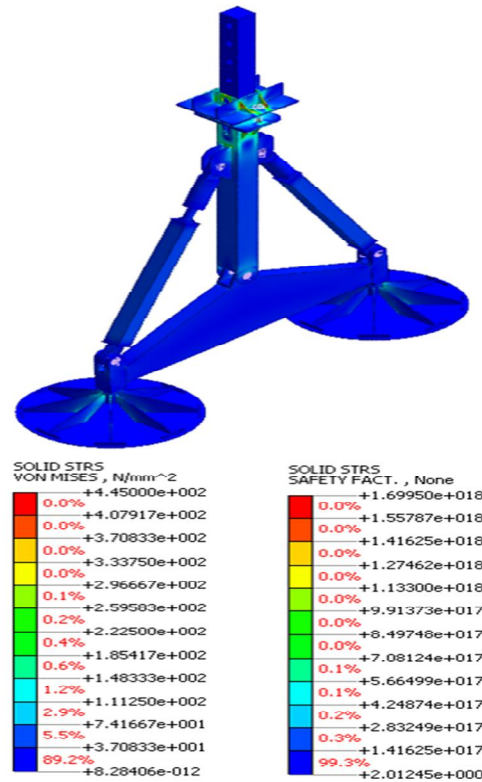


Fig. 12 Numerical analysis of slope correction device with design change

Table 3 Design change review result

Part Name	Before		After	
	Von mises stress	Safy factor	Von mises stress	Safy factor
Level Plate	1,749MPa	0.686	347MPa	2.98
Center Bar	1,766MPa	0.715	290MPa	4.03
Pin (F)	1,788MPa	0.461	445.3MPa	2.01
Pin (R)	1,903MPa	0.433	444.6MPa	2.02

4. 결 론

지금까지 경사 면 보정 장치의 초기 설계를 바탕으로 안전을 확보를 위한 연구를 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 경사 면 보정 장치의 특성 상 사용 중에 충격하중이 가해질 확률이 높다. 그래서 역학적인 검토를 한 결과 충격 응력과 정적 응력간의 관계는 $\sigma \geq 2\sigma_0$ 임으로 설계 안전율은 최소 2.0이어야 한다는 결론을 얻었다.
2. 간략화된 경사 면 보정 장치의 구조해석을 실시한 결과 Level Plate, Center Bar, Pin(F), Pin(R) 4개의 부품이 설계 안전율을 만족하지 못하였다.
3. Level Plate, Center Bar는 응력집중 부위에 보강판을 이용하여 강성을 확보하였으며, Pin은 직경을 키워서 강성을 확보하였다. 그 결과 모든 부품이 설계 안전율 기준을 만족할 수 있었다. Table 3은 설계 변경된 부품에 대한 결과를 정리한 것이다.
4. 본 연구에서는 경사 면 보정 장치의 안전성을 검토하였다. 하지만 해당 제품은 안전성 뿐 아니라, 질량도 설계에서 굉장히 중요한 요소이다. 안전성을 유지하면서 질량을 최소화 할 수 있는 연구를 추후에 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

1. Kim, J. H., "A Study on the Structural Analysis of the Valve Block of Axial Piston Pump with a Swash Plate Type", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 3, pp. 52-57, 2016.
2. Choi, J. W., "Finite Element Analysis Theory and Practice", Bogdoo, pp. 136-137, 2020.
3. Kim, J. H., Shin, M. S., Kim, M. K., "A study on Structural Improvement of the Shashplate Axial Piston Pump Valve Block (1)", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 1, pp. 69-75, 2018.
4. Kim, J. H., Shin, M. S., Kim, M. K., "A study on Structural Improvement of the Shashplate Axial Piston Pump Valve Block (2)", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 1, pp. 76-81, 2018.
5. Nam, K. S., Choi, J. K., Choi, H. M., Kim, J. K., Yeum, S. H., Lee, S. S., "Study on the Improvement of Strength of Excavator Attachments Considering the Field Environment", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 1, pp. 122-128, 2016.
6. Lee, W. S., An, B. S., Kim, J. H., Lee, J. C., Woo, B. G., Lee, Y. S., "A Study on Structural Safety of Integrated Machine for Grindin Wheel Forming", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 84-88, 2016.