



## 내진보강재의 체결부 형상결정에 대한 해석적 연구

김진섭<sup>1</sup> · 권민호<sup>2</sup> · 임정희<sup>1</sup> · 서현수<sup>1</sup>

경상대학교 토목공학과 박사과정<sup>1</sup>, 경상대학교 토목공학과 공학연구원 교수<sup>2</sup>

### Analytical Study on the Determination of Shape for Connector of Seismic Reinforced Strip

Kim, Jin-Sup<sup>1</sup> · Kwon, Min-Ho<sup>2</sup> · Lim, Jeong-Hee<sup>1</sup> · Seo, Hyun-Su<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

**Abstract:** In this study, a shape of connector on seismic reinforced strip, which did not cause any physical damage to concrete column and can repair and reinforcement was decided by using nonlinear finite element analysis. Load displacement was applied on the concrete attached by strip. Stress distribution of connector by extension of concrete were checked. Through stress distribution of this analysis results, the most favorable shape was selected as a shape of the connector.

**Key Words:** Reinforced strip, Shape decision, Shape analysis

#### 1. 서 론

최근 지진은 과거에 비하여 강도가 강해지고 주기 또한 빈번하게 발생하고 있다. 2001년 1월 인도 구자랏트에서 규모 7.7, 2003년 12월 이란 남부지역에서 규모 6.6, 2004년 12월 인도네시아 수마트라에서 규모 9.0, 2005년 10월 파키스탄 북부지역에서 규모 7.6, 2008년 5월 중국 쓰촨성에서 규모 7.9, 2010년 1월 아이티에서 규모 7.0의 지진이 발생하였고 이로 인하여 많은 인명피해와 재산피해가 발생하였다. 특히 강진에 뒤따라오는 여진으로 인하여 피해가 증대되는데 대표적으로 2011년 3월 일본 동북부 지진의 2차 피해로 원자력 발전소 방사능 유출이 발생하였고 이로 인하여 전 세계가 놀랄 만큼의 큰 재난이 발생하였다. 국내에서는 국외에서와 같이 큰 강도의 지진이나 지진으로 인한 막대한 피해의 발생량이 크진 않지만 지진의 발생량은 해마다 증가하고 있을 뿐만 아니라 최

근 10년동안의 유감횟수가 전체의 50% 이상을 차지하고 있을 정도로 그 강도도 증가하고 있다. 지진은 예보가 거의 불가능하고 지반을 통해 에너지가 전달되므로 지진피해의 대부분이 건설 구조물에 집중된다. 철근 콘크리트 구조물에 지진하중과 같은 반복하중이 작용할 경우 구조물의 주요 부재인 기둥에 소성힌지가 발생하여 손상이 집중되며 특히, 비내진 RC 구조물의 경우는 원형철근을 사용했거나 정착길이가 부족하여 발생하는 부착 미끄러짐에 의해 횡강성이 급격히 저하되어 파괴에 이르기 때문에(Park, 2008) 지진하중에 대한 부재의 손상을 방지하는 대책이 필요하다. 현재 많은 건축물이 지진의 영향을 고려하지 않은 채 설계, 시공되어 있다. 이러한 건축물에 예상치 못한 지진이 발생하면 그 피해는 매우 광범위하게 발생할 가능성이 크다. 또한, 지진은 짧은 시간동안 발생하여 대처할 시간적인 여유가 거의 없기 때문에 많은 인명과 재산적 피해를 가지고 온다. 이에 내진설계의 필요성이 부각되는데, 강진에 뒤따라오는 여진으로 인

**주요어:** 보강재, 형상결정, 형상해석

**\*Corresponding author:** Kwon, Min-Ho

Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University, 900 Gajwa-dong, Jinju 660-701, Korea.  
 Tel: +82-055-772-1796, Fax: +82-055-772-1799, E-mail: kwonm@gnu.ac.kr

투고일: 2013년 6월 10일 / 수정일: 2013년 7월 9일 / 게재확정일: 2013년 7월 23일

한 2차 피해를 대비하여 신속한 내진보강이 필요하다. 내진설계 이전에 건설된 구조물의 보강방법인 단면증설법, 강관보강법, 섬유시트보강법은 건물의 중량이 증대되고 건물의 이용공간이 좁아지며 시공시 넓은 공간을 필요로 한다. 또한 물리적 손상과 보수·보강에 시간이 걸려 신속한 보수, 보강이 어려운 문제점이 있다.

이에 본 연구에서는 기존 구조물에 물리적 손상을 주지 않고 용접이 필요하지 않으며 신속한 보수·보강이 가능한 보강재를 설계를 하고자 한다. 또한, 시공이 용이하게 하기 위하여 보강판은 FRP(GL)로, 체결부는 알루미늄으로 경량의 재료를 사용하였다. 보강재 양 끝의 체결부 결합만으로도 견고한 연결이 이루어지는 보강재를 제작하기 위하여 보강재 체결부의 형상을 변수로 유한요소 해석을 실시하였고, 해석을 통하여 최적의 체결부의 형상을 선정하였다.

## 2. 보강재 설계

철근 또는 시멘트의 재료를 사용하거나 강관을 이용하는 단면 증설법, 강관 보강법은 건물의 중량이 증대되고 건물의 이용공간이 좁아지며 시공시 넓은 공간이 필요한 문제점이 있다. 특히 피해가 발생한 구조물에 강관압착작업을 하였을 경우 모재와 강관의 사이가 충분하게 접촉되었는지 확인이 불가능하다. 최근에 기존 공법에 비하여 경제적이고 시공성과 기술적인 면에서 우수한 섬유시트보강법의 사용이 증가하고 있다. 하지만 섬유 시트 보강법은 단면증설법과 강관보강법과 함께 Fig. 1(a)과 Fig. 2처럼 보강재를 기둥에 고정시키기 위해 앵커부재를 사용한다. 앵커부재가 기둥에 삽입됨으로 인해 기둥은 물리적 손상이 가해지고 이로 인해 기둥의 강도가 저하되는 문제점이 있다. 또한 강관보강법의 경우 Fig. 1(b)와 같이 강관부재의 양단을 용접하는 작업이 필요하므로 신속한 보수·보강이 필요한 지하철 역사와 같은 곳에는 적용되기 어렵다. 이에 본 연구에서는 앞서 서술한 보강법의 문제점을 보완하고자 Fig. 3과 같은 보강재를 계획하였다. 보강재는 Fig. 3(a)와 같이 ㄷ자 형태로 이루어져 있고 두 개의 보강재를 용접작업 없이 체결하기 위하여 ㄷ자 끝부분에 체결부를 적용시켰다.

이 체결부는 Fig. 3(b)와 같이 내부면에 쐐기돌기가 형성된 오목부와 Fig. 3(c)와 같이 오목부의 쐐기돌기에 대응하는 볼록부로 구성되어 있다. 오목부는 볼록부가 돌출되어 있는 길이에 비해 더 깊게 형성되어 오목부가 벌어지는 범위가 오목부 재료의 탄성범위 내에 있게 되어 볼록부 삽입 후 오목부가 원상태로 오므려져 체결이 견고하게 이루어진다. 또한, 볼록부와

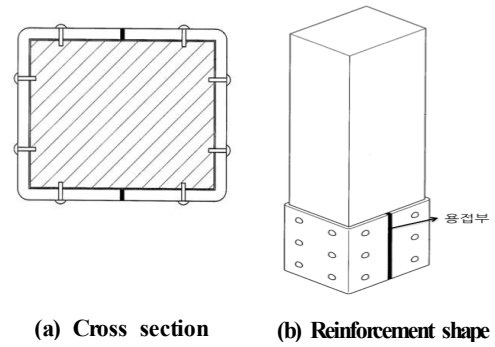


Fig. 1 Cross Section and Reinforcement Shape of the Existing Reinforced Method

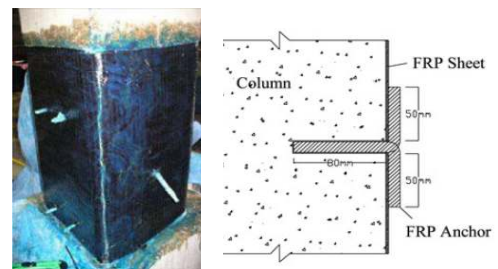


Fig. 2 Reinforced Method(Qzcan et al., 2008)

오목부의 쐐기돌기는 경사를 가지고 있기 때문에 볼록부가 오목부에 삽입되면서 서로 맞물리게 되어 삽입은 용이하나 뽑힘은 어렵다. 따라서 볼록부를 오목부에 삽입하는 것만으로도 견고한 연결이 이루어지므로 보강재의 조립을 통한 기둥의 보강이 매우 신속하게 이루어 질 것으로 예상된다.

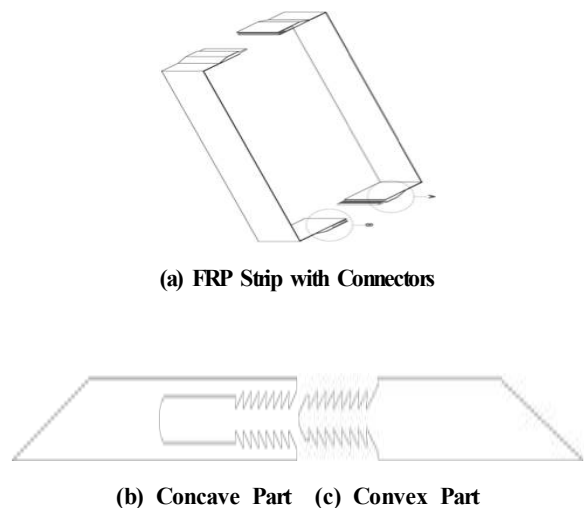


Fig. 3 Details of FRP Strip

### 3. 비선형 유한요소 해석

#### 3.1 유한요소 모델링

보강재로 구속된 콘크리트에 반복 횡하중을 가할 때 보강재의 볼록부 췌기돌기에 경사가 존재하면 체결부간 분리되는 속도가 지연될 것으로 판단하였다. 이에 볼록부의 췌기돌기에 경사가 있는 형태를 고려하였다. 경사의 정도에 따라 보강재의 시공성 문제와 체결부의 부착정도가 달라지므로 시공이 유리한 경사를 선정하여 비선형 유한요소 해석을 실시하였다. 선정된 각은 75°, 80°, 85°, 90°이고, 비선형 유한요소해석을 통하여 가장 적합한 형상을 결정하였다. 경사를 결정한 후 시공이 가능한 범위 내에서 볼록부의 목두께, 톱니길이, 톱니높이를 변수로 해석을 실시하여 최적의 형상을 결정하였다. Fig. 4에 볼록부의 각 명칭을 상세히 나타내었고 Fig. 5와 Table 1에 해석변수를 나타내었다. 비선형 유한요소 해석은 범용 프로그램인 ABAQUS를 사용하였다. 탄성거동을 하는 콘크리트에 체결부를 완전 부착한 보강재를 부착하여 3차원 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 6과 같이 보강판과 체결부, 콘크리트는 솔리드 요소로 모델링하였고 보강판과 체결부의 물성치는 Table 2와 같이 제작 시 사용

할 복합재료의 탄성계수와 항복강도를 사용하였다.

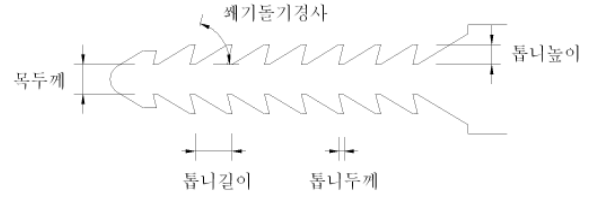


Fig. 4 Names of Convex Part

보강판과 체결부, 보강재와 콘크리트는 완전 부착 거동을 하도록 모델링하였고 체결부의 볼록부와 오목부는 contact 처리를 하였다. 콘크리트 팽창력의 효과적인 보강을 위하여 Fig. 6(b)과 같이 보강재가 부착되지 않은 하단부 콘크리트는 Y축으로 고정, 상단부 콘크리트에 변위하중을 가하였다. 상단부에 가한 변위하중으로 Fig. 7과 같이 콘크리트는 보강재가 부착된 방향으로 팽창하게 되고, 콘크리트의 팽창에 의하여 콘크리트를 구속하던 보강재의 체결부에 응력이 발생한다. 이로 인하여 파괴되는 체결부의 파괴형상을 비교, 분석하여 적절한 체결부 각과 형상을 선정하였다.

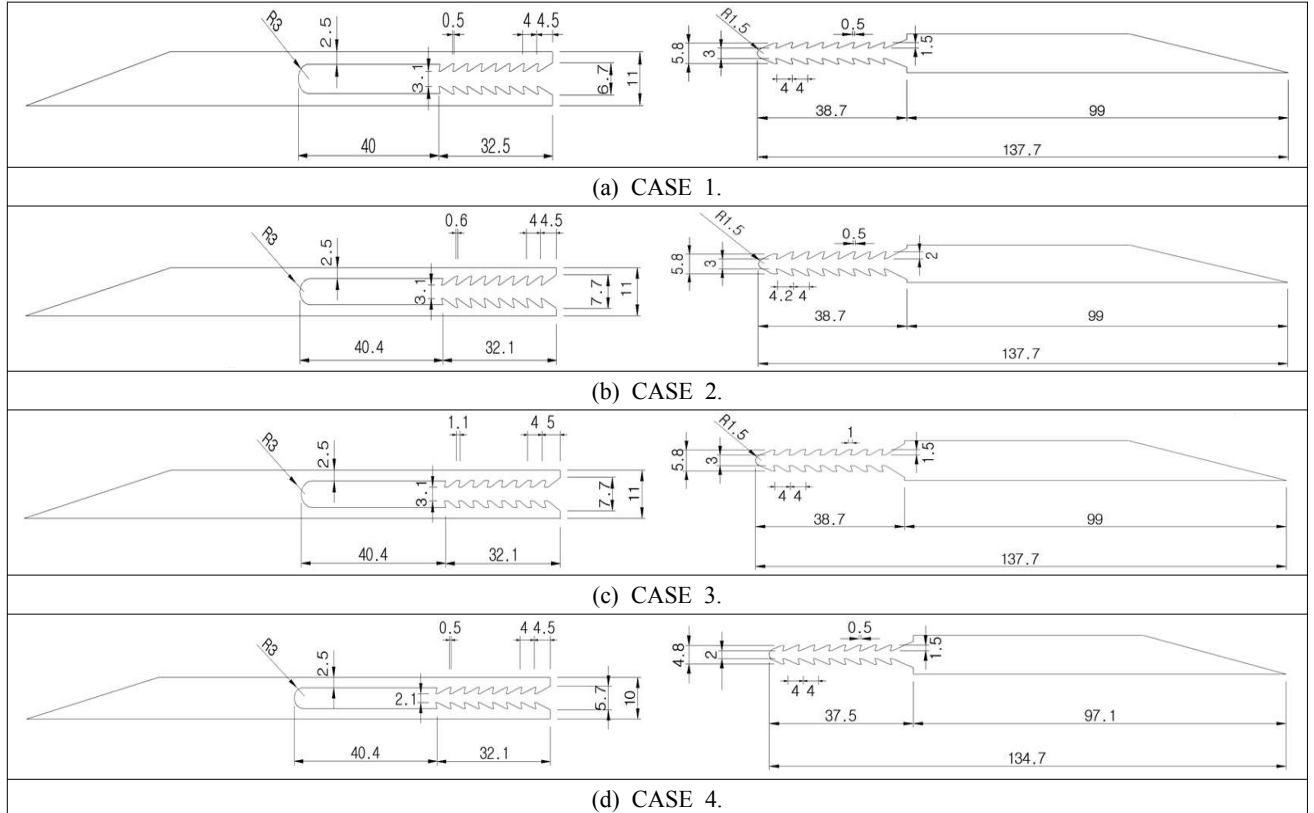


Fig. 5 Analysis Parameters According to Connector Shape

Table 1. Analysis Parameters

Specimen	neck thick	sawtooth thick of the first	sawtooth thick	sawtooth height
Case 1.	3	4	0.5	1.5
Case 2.	3	4.2	0.5	2
Case 3.	3	4	1	1.5
Case 4.	2	4	0.5	1.5

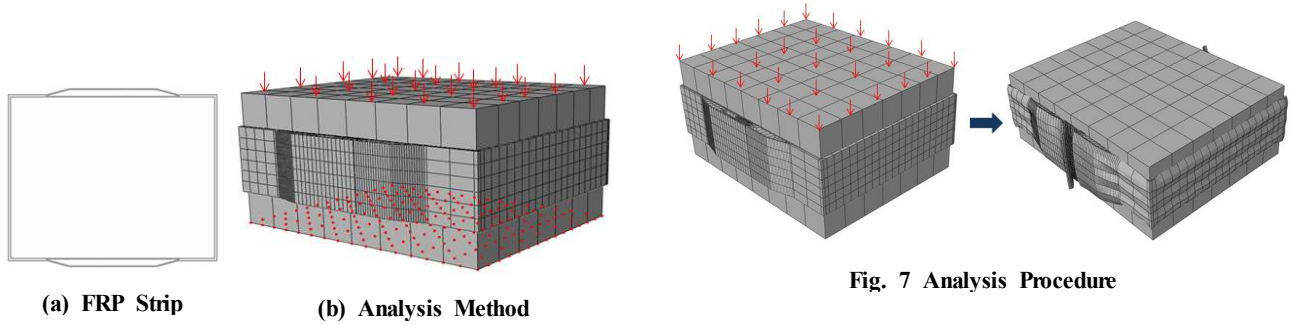


Fig. 7 Analysis Procedure

3.2 쐐기돌기 경사에 따른 유한요소 해석결과

쐐기돌기 경사에 따른 체결부의 응력분포는 Fig. 8 과 같다. 상단에 가한 변위하중으로 콘크리트의 팽창에 의해 75°일 때 톱니의 모든 부분이 물리고 응력이 톱니에 고르게 분포한다. 80° 또한 톱니의 모든 부분이 맞물리고 응력이 톱니에 분포하는 것을 볼 수 있으나, 볼록부의 목에 응력이 다른 곳에 비하여 크게 발생하는 것을 통해 목에서 깨짐이나 균열이 예상된다. 85°의 경우 톱니 3~4번째에서, 90°의 경우 첫 번째 톱니부터 열림이 시작되는데 이로 인하여 체결부의 급작스러운 분리가 발생할 것으로 예상된다.

Fig. 6 Modeling of FRP Strip and Analysis Method

Table 2. Material Property

No.	Tensile strength (MPa)	Modulus of E (MPa)	Poisson's ratio
FRP(GL)	257.5	21,440	0.3
AL	280	70,000	0.33

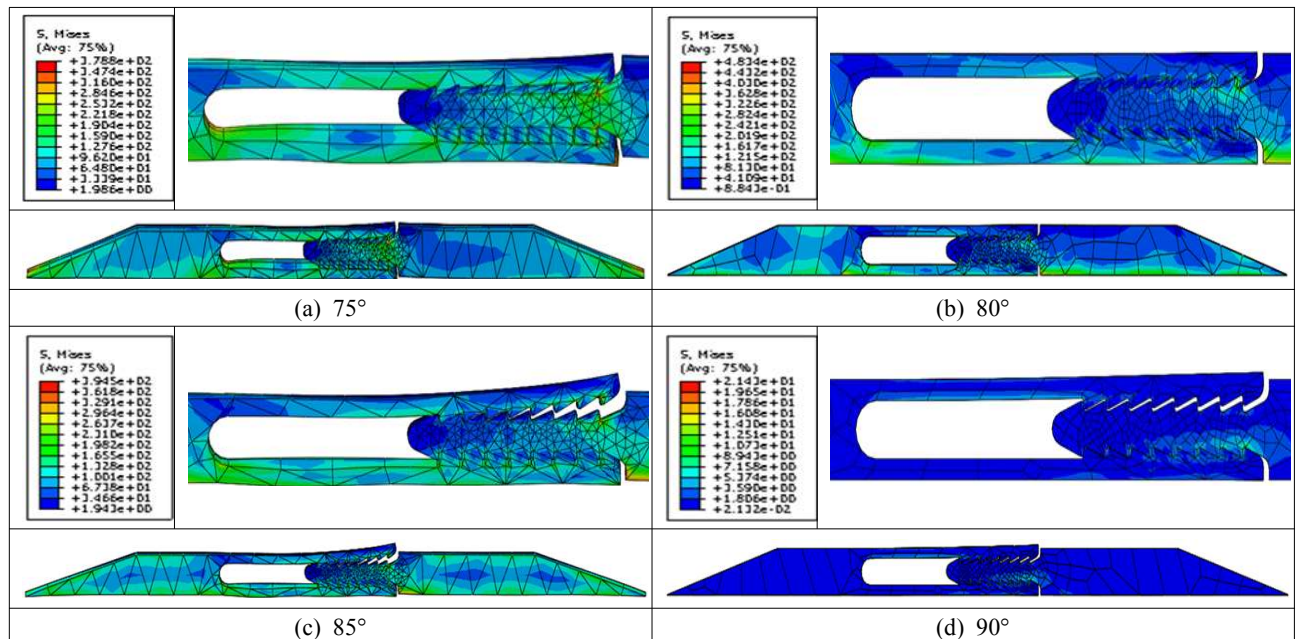


Fig. 8 Stress Distribution of Connector According to Slope of Wedge Protrusion

### 3.3 썸기돌기 형상에 따른 유한요소 해석결과

썸기돌기의 경사를 75°로 선정한 후 목두께, 톱니 두께 등을 변수로 해석을 실시한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. Case 1.은 목에 응력이 크게 집중되어 목에서 깨짐이나 균열이 예상된다. Case 2.의 경우에는 최초 톱니길이와 톱니높이의 증가로 인하여 응력이 돌출부 첫 번째 톱니로 유도되는 것을 볼 수 있다.

Case 3.은 톱니의 두께가 1mm 증가되었으나, Case 1.과 같이 응력이 목에 집중되었고, Case 4.는 목두께와 돌출부의 전체적인 크기를 조정하였으나 Case 1.과 같이 응력이 목에 집중되었다. 해석결과를 통해 응력이 첫 번째 톱니로 유도되어 체결부의 순차적인 파괴가 예상되는 Case 2.가 체결부의 형상으로 적합함을 확인하였다.

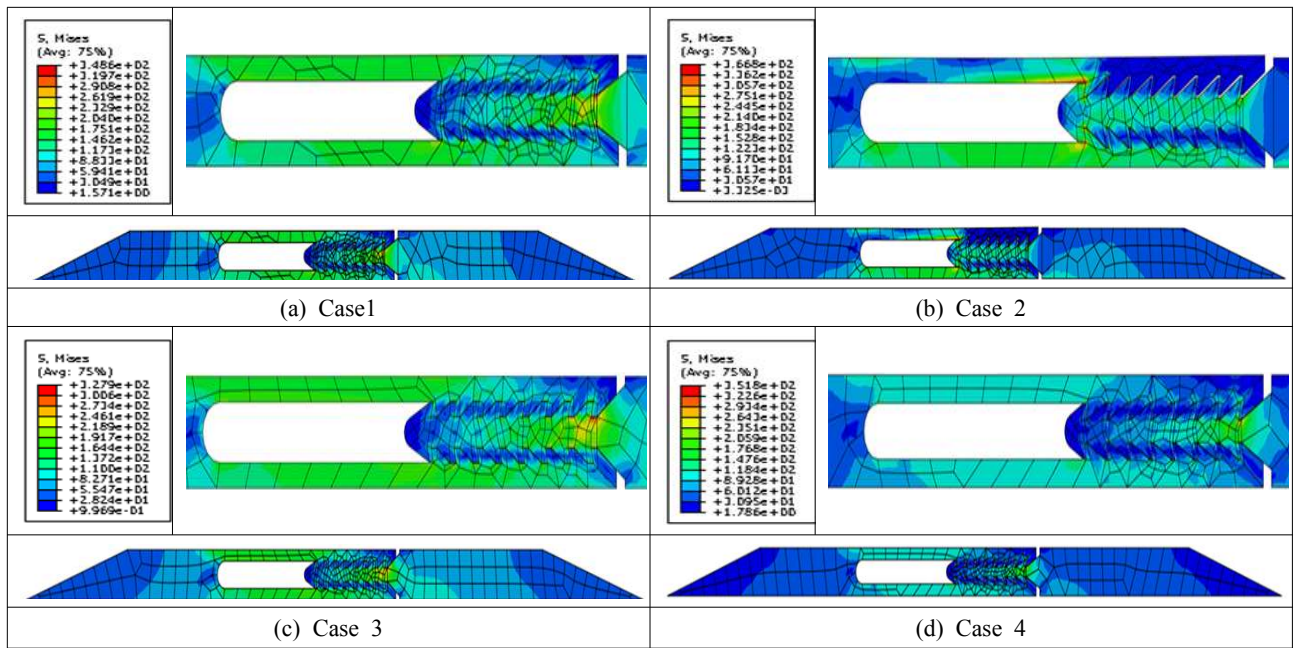


Fig. 9 Stress Distribution of Parameters

## 4. 결론

본 연구에서는 기존 구조물에 물리적 손상을 주지 않고 용접이 필요하지 않으며 신속한 보수·보강이 가능한 보강재를 설계하고자 한다. 보강재 체결부의 형상을 변수로 유한요소 해석을 실시하였고, 해석을 통하여 적절한 체결부의 형상을 선정하였다. 이에 연구 결과는 아래와 같다.

1. 썸기돌기 경사를 75°, 80°, 85°, 90°로 해석한 결과 썸기돌기 경사를 75°로 하였을 때 전체적으로 톱니의 물림현상이 뛰어나 보강재 체결부에 사용하기 적합하다고 판단된다.
2. 목두께, 톱니길이 등을 변수로 해석한 결과 중 최초 톱니길이 4.2mm, 톱니높이 2mm로 한 Case 2.의 해석결과가 응력이 첫 번째 톱니로 유도되어 체결부의 순차적인 파괴가 예상되므로 내진보강재의 형상으

로 적합하다고 사료된다.

3. 본 연구에서 제작한 보강재의 체결부는 시공성으로 인하여 형상이 한정적이다. 추후 시공성이 발달한다면 다양한 설계변수를 두어 효과적인 체결부 설계가 가능할 것으로 사료된다.

## References

- ABAQUS, Dassault Systems Simulia Corp. (2011), Abaqus Analysis User's Manual. Version 6.10, 2011.
- Frangou, M., Pilakoutas, K., and Dritsos, S. (1995), "Structural repair/strengthening of RC columns" *Construction and Building Materials*, 9(5), pp. 259-266.
- Kim, J. S., Kwon, M. H., Jung, W. Y., and Limkatanyu, S. C. (2013), "Seismic performance evaluation of RC columns reinforced by GFRP composite sheets with clip connectors" *Construction and Building*

*Materials*, 43, pp. 563-574.

- Kim, K. D., Sim, J. I., Yang, K. H., and Chung, H. S. (2008), "Flexural Behavior of Reinforced Concrete Columns with Wire Ropes as Lateral Spiral Reinforcement" *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 24(12), pp. 83-90. (in Korean)
- Kim, S. B., Seo, D. G., Kim, S. M., and Lee, C. N. (2003), "An Experimental Study on the Modification Methods of Reinforced Concrete Columns Using Bolt Tension" *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 19(9), pp. 11-16. (in Korean)
- Ozcana, O., Binicib, B., and Ozcebeb, G. (2008), "Improving seismic performance of deficient reinforced concrete columns using carbon fiber-reinforced polymers" *Engineering Structures*, 30(6), pp. 1632-1646.
- Park, J. H., Hong, G. S., Hong, Y. K., Shin, Y. S., and Choi, O. C. (1996), "An Experimental Study on Strengthening Effect of Reinforced Concrete Columns with Steel Plate under AXial and Lateral Loads" *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*, 16(2), pp. 601-605. (in Korean)
- Park, J. Y. (2008), "Seismic Performance of Non-Seismic RC Frames Retrofitted with Steel Dampers" Master's degree, Chungang University.
- Priestley, M. J. N., Seible F., Xiao Y., and Verma R. (1994), "Steel Jacket Retrofitting of Reinforced Concrete Bridge Columns for Enhanced Shear Strength-Part 1: Theoretical Considerations and Test Design" *ACI Structure Journal*, 91(4), pp. 394-405.
- Priestley, M. J. N., Seible F., Xiao Y., and Verma R. (1994), "Steel Jacket Retrofitting of Reinforced Concrete Bridge Columns for Enhanced Shear Strength-Part 2: Test Results and Comparison With Theory" *CI Structure Journal*, 91(5), pp. 537-551.
- Xiao, Y. and Ma, R. (1997), "Seismic Retrofit of RC Circular Columns Using Prefabricated Composite Jacketing" *Journal of Structural Engineering*, 123(10), pp. 1357-1364.
- Ye, L. P., Zhang, K., Zhao, S. H., and Feng, P. (2003), "Experimental study on seismic strengthening of RC columns with wrapped CFRP sheets." *Construction and Building Materials*, 17(6/7), pp. 499-506.