

대형 주철 균열재의 기계적 보수 방법에 관한 연구

천위안*, 조석수**

*강원대 대학원 기계-컴퓨터-산업경영공학과

**강원대 기계시스템공학부 기계설계공학전공

e-mail:sscho394@kangwon.ac.kr

A Study on Mechanical Repair Method of Large Cracked Cast Iron Parts

Yuan Chen*, Seok-Swoo Cho**

* Department of Mechanical-Computer-Industrial Engineering, Graduate School, Kangwon National University

**Division of Mechanical Design Engineering, Kangwon National University

요약

균열이 발생된 대형 주철 부품들은 부품 파손에 따른 교환이 불가능하여 냉간 보수 용접하여 재사용을 하게 된다. 그러나 대형 주철 균열재가 냉간 보수 용접하게 되는 경우 최소 요구 조건을 준수하지 않아 보수된 균열이 재파괴되는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 대형 주철 구조물이 구조 하중을 받아 균열이 발생된 부품에 균열 보수 락이라는 냉간체결도구를 적용하여 균열이 발생된 부품을 서로 기계적으로 연결시켜 균열 발생 부분과 균열 미발생 부분에서 구조하중을 서로 분담하도록 하는 긴급 균열 보수 방법을 개발하였다.

1. 서론

선박용 엔진 부품등과 같은 대형 주철 부품들은 장기간 사용시 부식, 파공, 균열등이 발생하여 사용이나 운전이 지장을 주는 사례가 빈번하여 부품 파손에 따른 교환이 불가능하여 보수 용접을 하는 경우가 많다. 주철 보수 용접하는 장소는 협소한 공간이 많고 화학 물질등이 있어 주철재를 현장에서 예열하는 것은 작업 여건상 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 위험 물질이 있거나 협소한 공간 또는 보수 작업이 곤란한 상황이 있는 대형 주철 구조물이 구조 하중을 받아 균열이 발생된 경우 먼저 균열 멈춤 구멍으로 균열 선단근방의 응력집중을 완화시킨 뒤, 균열 보수 락이라는 냉간체결도구를 적용하여 균열이 발생된 부품을 서로 기계적으로 연결시켜 균열 발생 부분과 균열 미발생 부분에서 구조하중을 서로 분담하도록 하는 긴급 균열 보수방법을 개발하고자 한다.

2. 본론

2.1 균열 보수 락을 이용한 균열 보수 방법

Fig. 1와 2는 균열 보수 락과 균열 발생 부품에 균열 보수 락을 설치하기 위한 균열 보수 락과 균열 보수 지그를 각각 나타낸 것이다.¹⁾

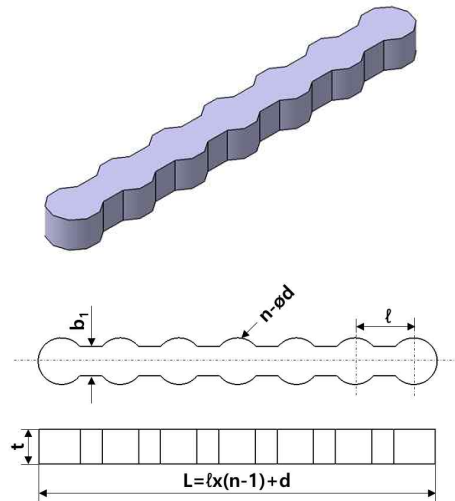


Fig. 1. Crack repair lock

Table 1은 중화인민공화국 교통부의 지도성 기술 문건인 선박 기계 부분의 금속접합보수기술²⁾을 기초로 균열 보수 락 치수를 균열 보수 락의 너 폭 b_1 을 매개 변수로 하여 나타낸 것이다.

2.2 균열 보수 락의 구조 해석과 시험

2.2.1 균열 발생 부품과 균열 보수 락 재료

Table 2는 균열 발생 부품으로 사용되는 GC 150과 균열

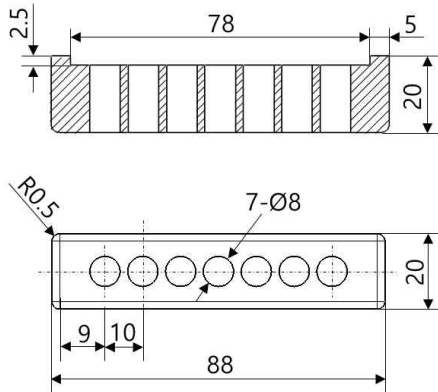
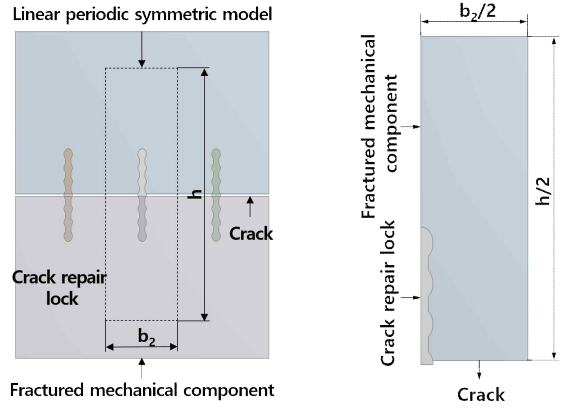


Fig. 2. Jig for crack repair lock installment



(a) Linear periodic symmetric model (b) 1/4 symmetric model

Fig. 3. Finite element model for crack repair process using crack repair lock

Table 1 Normalized dimension of crack repair lock

Breadth of neck b_1 (mm)	Diameter of flange d (mm)	Distance between flanges l (mm)	Thickness s t (mm)	Number of flanges n
3	1.6 b_1 (8)	2 b_1 (10)	1 b_1 (5)	5
4				(7)
5				9
6				

이 발생된 부분을 보수하기 위한 균열 보수 락 재료인 SCM 440의 기계적 성질을 나타낸 것이다.³⁾ 균열 보수 락 재료 SCM 440은 균열 발생 부품 재료로 선정된 GC 150의 인장강도에 비하여 5.4배 정도 더 크다.

2.2.2 균열 보수 모델의 구조 해석

Fig. 3 (a)는 대형 주철 구조물에 발생된 균열을 Fig. 1의 균열 보수 락을 이용하여 균열을 보수한 결과의 일부분을 무한 평판에 나타낸 것이다. 균열 성장을 억제하기 위하여 Fig. 3 (b)는 균열 보수 모델을 균열 방향의 수직방향에 대한 대칭성과 균열 보수 모델의 선형 주기성 방향에 대한 수평방향 대칭성을 고려한 2차원 유한요소해석모델로 구성한 것이다.

2.3 구조해석 결과 및 토론

2.3.1 균열 보수 모델의 구조해석

Fig. 4는 균열보수부품에서의 유한요소모델의 높이 h 와 폭

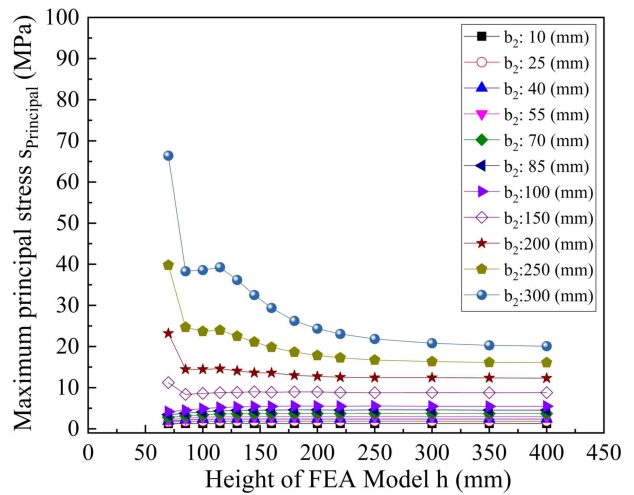


Fig. 4. Relationship between the height of FEA model and the maximum principal stress in crack repair component

b_2 에 따른 최대주응력을 나타낸 것이다. 최대주응력은 유한요소모델 높이 h 가 증가하면 감소하나 유한요소모델 폭 b_2 가 증가하면 증가한다. 특히, 이러한 경향은 유한요소모델 높이 h 가 낮거나 유한요소모델 폭 b_2 가 크면 더 강하게 나타나고 있다. 한편, 그림에서 유한요소모델 높이 h 가 증가하거나 폭 b_2 가 감소하게 되면 균열 보수 부품 유한요소모델의 최대주응력에 미치는 유한요소모델 치수의 영향이 나타나지 않는

Table 2 Mechanical properties of components

Components	Material specification	Poisson's ratio	Elastic modulus (GPa)	Tangent modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Yielding strength (MPa)	Elongation (%)
Crack repair component	GC 150	0.2	116	8.2	180	140	0.77
Crack repair lock and jig	SCM 440	0.3	200	8.5	980	833	12

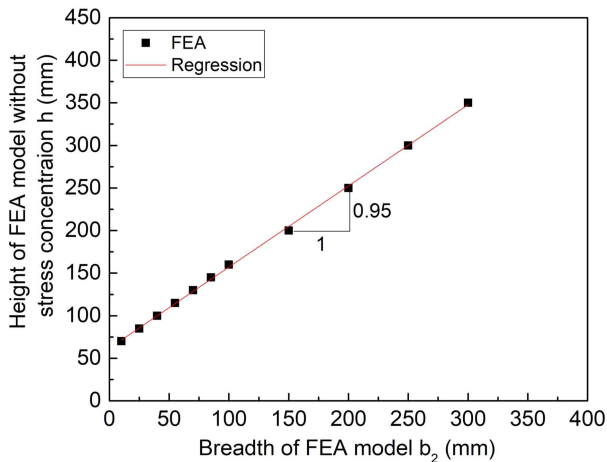


Fig. 5. Relationship between the height of FEA model without stress concentration and the breadth of FEA model in crack repair component

영역이 존재한다.

Fig. 5는 균열보수부품의 유한요소모델에서 해당 모델 치수에 영향을 받지 않는 유한요소모델 폭 b_2 에 대한 유한요소 모델 높이 h 를 나타낸 것으로 그 관계를 다음 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$h = 62 + 0.95b_2 \quad (1)$$

식 (1)에서 균열보수모델은 균열 보수 락의 플랜지 직경과 전체 길이를 기초로 균열 보수 모델 폭 b_2 가 증가함에 따라 해당 모델 폭 b_2 의 증가량에 대하여 해당 모델 높이 h 의 증가량의 비가 0.95정도가 되도록 해당 모델 높이 h 의 크기도 증가하게 된다.

한편, 균열 보수 락을 이용한 구조물 접합은 주로 제품 치수에 비하여 두께가 얇은 쉘 구조물에 적용하는 하는 것이 보통이므로 판 단면에 대한 수직하중을 받으므로 균열 보수 부품과 균열 보수 락이 모두 수직 하중에 의하여 파손될 것이다. 따라서 균열 보수 락을 이용한 균열 보수 부품과 균열 보수 락의 해석적 이음 효율 η_i 는 균열보수모델의 예비인장시험을 기초로 균열 보수 부품 재료의 인장부담하중에 대한 균

열 보수 부품의 인장부담하중의 비와 균열 보수 부품 재료의 인장부담하중에 대한 균열 보수 락의 인장부담하중의 비로서 다음 식 (2)와 같이 정의할 수 있다.⁴⁾

$$\eta_{C, FEA} = \frac{F_{U, crack\ repair\ component}}{F_{U, material\ of\ crack\ repair\ component}} \times 100 (\%)$$

$$\eta_{L, FEA} = \frac{F_{U, crack\ repair\ lock}}{F_{U, material\ of\ crack\ repair\ component}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

단, $F_{U, material\ of\ crack\ repair\ component}$: 균열 보수 부품 재료의 최대인장부담하중, $F_{U, crack\ repair\ component}$: 균열 보수 부품의 최대인장부담하중, $F_{U, crack\ repair\ lock}$: 균열 보수 락의 최대인장부담하중

Table 3은 유한요소법을 이용하여 균열보수모델의 기계적 접합 효율을 해석적으로 계산한 것이다. 균열 보수 락을 이용한 균열 보수 부품의 해석적 이음 효율 η_{FEA} 는 균열 보수 부품 재료의 최대인장부담하중이 189,000N이고 균열 보수 부품의 최대인장부담하중이 57,750N이므로 균열 보수 부품의 이음 효율 $\eta_{C, FEA}$ 은 30.6%이다. 또한, 균열 보수 락의 이음 효율 $\eta_{L, FEA}$ 은 균열 보수 부품 재료의 최대인장부담하중이 189,000N이고 균열 보수 락의 최대인장부담하중이 50,400N이므로 균열 보수 락의 이음 효율 $\eta_{L, FEA}$ 은 26.7%이다. 균열 보수 부품의 최대 인장 부담 하중이 균열 보수 락의 최대 인장 부담 하중보다 더 커 전자가 후자보다 더 빨리 해당 재료의 인장강도에 도달하게 된다. 따라서 균열 보수 모델이 균열 보수 락보다 먼저 파손되어지고 균열 보수 락은 안전하게 유지되므로 냉간 기계적 이음 결합의 가장 기본 원칙인 결합 구조물이 결합 도구보다 먼저 파손된다는 것을 지키고 있다. 이상의 결과를 토대로 균열 보수 락을 이용하여 파손된 기계 구조물을 결합하여 균열을 보수하는 방법이 역학적으로 확립되어졌다고 할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 대형 주철 부품의 균열 보수 방법으로 재파

Table 3 Joint efficiency of crack repair component by crack repair model

Breadth of FEA model b_2 (mm)	Height of FEA model without stress concentration h (mm)	Load carrying capacity F (N)			Joint coefficient (%)	
		Material of crack repair component	Crack repair component	Crack repair lock	crack repair component	Crack repair lock
70	130	189,000	57,750	50,400	30.6	26.7

괴가 자주 발생하는 기존의 냉각 보수 용접 방법을 대체하기 위하여 균열 보수 부품과 균열 보수 락을 이용하여 균열이 발생된 대형 주철 구조물의 구조 건전성을 확보하는 방법을 제안하였으며 이하에 주요 연구 내용을 나타내었다.

1. 균열 보수 부품에 발생하는 최대주응력이 유한요소모델 치수에 영향을 받지 않는 영역이 존재하고 있으며 해당 모델의 폭에 대한 높이의 비가 0.95였다.

2. 대부분의 대형 주철 구조물의 균열 보수 용접에서 사용 환경에 의하여 냉간 용접을 수행하게 되므로 균열이 발생된 현장 대형 주철 부품이 지하중에서 사용되는 경우 균열 발생 가능성이 높은 냉간 용접 방법으로 수리하는 것보다 균열 보수 락을 이용하여 수리하는 것이 균열이 발생된 현장 대형 주철 구조물의 구조 신뢰성을 공학적으로 확보하는 데 훨씬 더 유리하다.

참고문헌

-이하 생략-