

# 외력에 의한 지중공동 붕괴시 지반거동에 대한 연구

## A Study on the Behavior of the Loosened Area Extension at the Collapse of the Underground Cavity by External Force

김영호<sup>1</sup>, 이종영<sup>1</sup>, 유승경<sup>2</sup>, 한중근<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Civil & Environmental Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Korea,

<sup>2</sup>Dept. Of Civil Engineering, Myongji College, Seoul, Korea

### 1. 서론

- 홍수나 태풍 다음으로 위험이 되는 재난으로 조사된 바 있는 지반함몰은 노후화된 관거 상부지반, 다짐이 충분히 이루어지지 않은 지반, 혹은 차수대책이 미흡한 굴착지반의 배면 등에서 발생된다(Gyeonggi Research Institute, 2014; Choi et al., 2015).
- 지반함몰은 지중내 비어있는 공간이나 외부로 유출이 되는 관거 파손부 혹은 차수벽으로 토사가 유실됨에 따라 점차 지표로 확장하여 붕괴됨에 따라 발생한다. 최근에는 주기적인 탐사를 통하여 지반함몰이 발생하기 이전인 지중 공동인 상태에서 보강을 통하여 지반의 안정 상태를 유지하고 노력하고 있다.
- 주로 사용되는 보강방법은 크게 개착식과 비개착식으로 분류할 수 있다. 개착식 보강방법은 굴착과 동시에 원지반의 교란을 야기하여 개착범위 이상의 지반강도가 감소할 가능성이 있어 적합하지 않으며, 이를 최소화하고자 비개착식 공법을 주로 사용한다.
- 함몰이 발생하지 않은 지반에서 공동을 비개착식 보강하기 위해서는 포장층에서부터 천공을 진행한다. 공동에는 천공에 의한 외력이 작용함에 따라 기존 공동 천단부에서 추가로 파괴가 발생하여 공동은 더 큰 공동으로 발달한다(Kim et al., 2017). 이때의 지반은 천공 전에 비해 불안정해진다.
- 따라서, 본 연구에서는 지중공동 모사 모형실험을 실시하였으며 외력이 작용하기 전과 후에 대해 자체 제작한 이완영역탐지기를 통하여 지반의 거동을 알아보고 자체 제작한 공동분류기준에 적용하여 안정성을 판단하고자 하였다.

### 2. 사용시료 및 실험장비

- 공동모사실험에 사용한 시료는 USCS 분류시 SP로 빈입도의 주문진표준사와 실트질 세립분을 15~20% 배합한 시료이다.
- 900(L)x700(H)x150(W)mm 크기의 토조에 높이 600mm까지 층다짐을 통하여 상대밀도(Dr)가 조밀한 원지반(75~78%)을 모사하였다. 공동의 모사는 토조의 양측면에서 일정한 지하수를 모사하여 토조 중앙 하부로 유출되도록 하여 조성하였다.
- 또한, 모형실험시 발생하는 연약한 지반에서도 지지력 변화 측정이 가능한 이완영역탐지기는 직경이 각각 3mm, 2.3mm인 콘과 룯드, 그리고 20mm/sec의 최대관입속도로 조절가능한 모터로 구성되어 있다.
- 실험은 총 2회로 지하수 흐름에 의한 토사유실로 공동의 확장이 지속되는 경우 이완영역 측정은 육안으로 확인가능한 일정크기 이상의 공동이 발현된 상태에서 이완영역을 측정하였다.
- 또한, 외력에 의해 공동이 확장되는 경우 일정크기 이상의 공동이 발현된 후 천공을 진행하여 파괴영역이 발생됨을 확인한 후, 이완영역탐지기를 이용하여 콘관입저항력을 측정 후 분석하였다(Fig. 2).

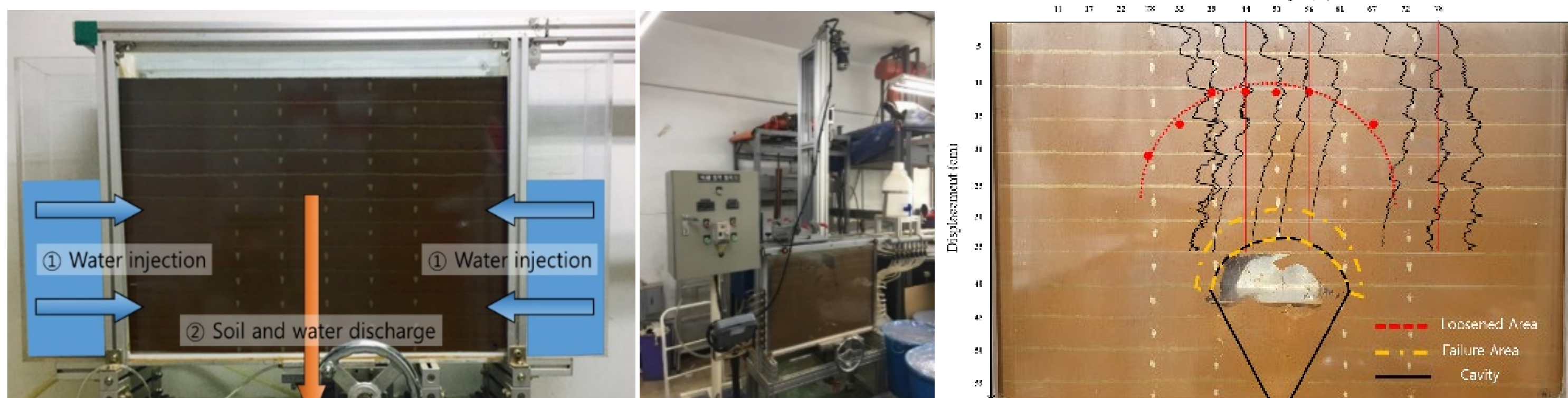


Fig. 1 모형실험 개요

Fig. 2 이완영역지반 탐지결과

### References

1. Choi, Y. W., Choi, H. and Kim, J. M (2015), The mechanism of subsurface cavities and countermeasure of cave-in, Magazine of the Korea institute for structural maintenance and inspection, Vol. 19, No. 4, pp. 45 ~ 47 (In Korean).
2. Gyeonggi Research Institute (2014), Sinkhole swallowing the city, causes, and countermeasures, Issue&Diagnosis, Vol-No. 156, pp. 1 ~ 23.
3. Kim, Y. H., Kim, H. Y., Kim, Y. S., You, S. K. and Han, J. G. (2017), Experimental study for confirmation of relaxation zone in the underground cavity expansion, Journal of the Korean GeoSynthetics Society, Vol. 16, No. 4, pp. 231 ~ 240 (In Korean).
4. You, S. K., Ahn, H. C., Kim, Y. H., Han, J. G., Hong, G. G. and Park, J. J. (2019), A numerical analysis on stability analysis of cavity ground considering pavement thickness and traffic load, Journal of the Korean GeoSynthetics Society, Vol. 18, No. 4, pp. 287 ~ 297 (In Korean).

### 3. 실험결과

- 공동의 발생은 초기와 후기로 분류 가능하다.
  - ① 초기 : 폭이 확장되기도 하지만 지표면 방향으로 확장됨이 우세하다.
  - ② 후기 : 지하수 흐름에 의한 토사유실로 공동을 유지하는 아칭의 지지점까지 수평방향으로 확장됨에 따라 천단부 토사의 파괴로 이어진다.
- 공동은 수평방향의 확장에 의하여 지표방향으로의 붕괴가 반복된다.
- 지하수와 토사유실에 의해 공동이 확장시 이완영역 경계의 높이는 크게 영향이 있지 않았으며 폭이 점차 넓어짐을 확인하였다.
- 반면에 천공(외력)으로 인하여 공동의 형상은 수평방향은 크게 확장되지 않았지만 지표방향으로의 급격한 확장이 발생하였다. 따라서 지반 보강을 위한 천공시 파괴영역이 발생하는 경우, 이완영역의 경계는 지표와 가까워지며 폭도 확장됨을 알 수 있었다.

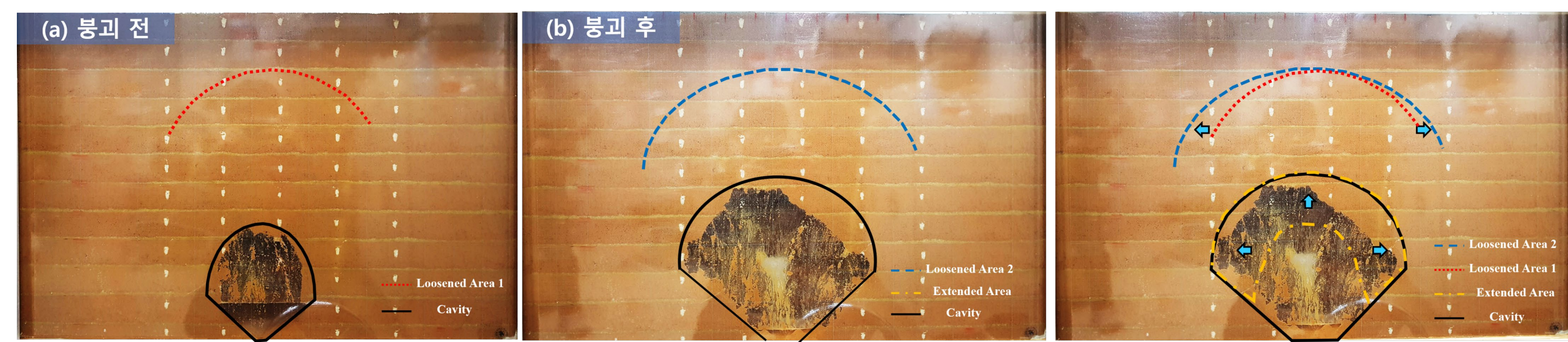


Fig. 3 지하수에 의한 공동의 확장시 이완영역 변화

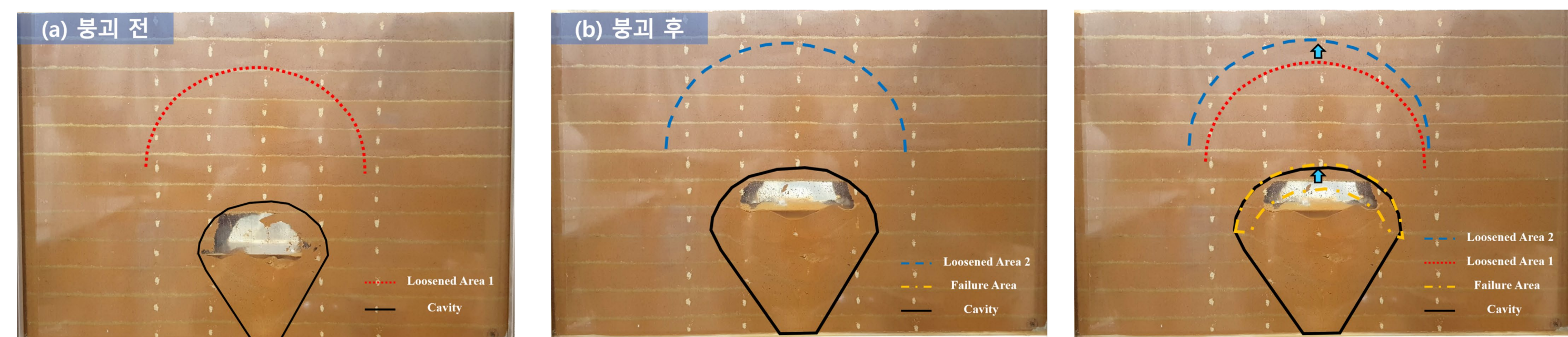


Fig. 4 외력에 의한 공동의 확장시 이완영역 변화

### 4. 적용

- 지표에서부터 안전율 1.3까지의 영역인 비파괴심도( $h_{FS}$ )라 정의한 바 있다(Fig. 5, You et al., 2019).
- Fig. 6과 같이 비파괴 심도를 토대로 안정성을 평가하여 공동을 분류할 수 있다.
- 외력에 의한 공동과 이완영역의 확장은 비파괴심도가 감소함에 따라 지반의 안정성이 감소하여 공동분류 기준시 안정성 등급이 낮아질 수 있다.

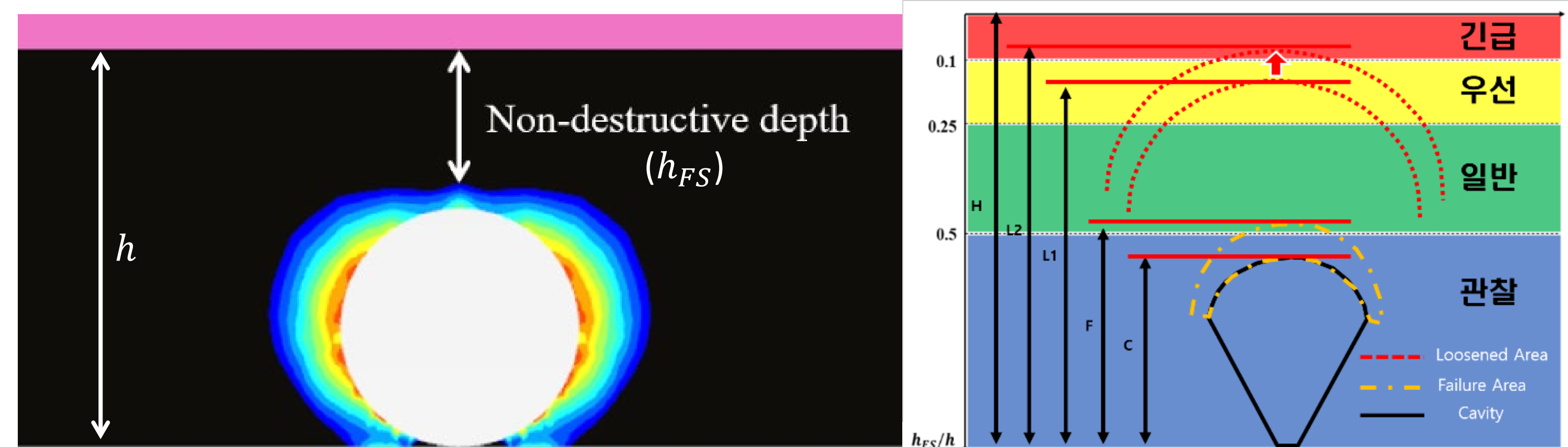


Fig. 5 비파괴심도(You et al., 2019)

Fig. 6 비파괴심도 공동분류등급 적용시 지반 안정성 평가

### 5. 결론

- 본 연구에서는 공동모사 모형실험을 통하여 공동의 확장과정, 외력에 의한 공동 확장시 발생하는 공동과 이완영역의 변화를 알아보고자 하였다. 이후 공동분류기준에 적용함으로써 파괴영역이 발생한 지반에서는 안정성이 감소함을 확인하였고 이를 고려하여 보강시 안전에 주의를 기울일 필요가 있음을 알 수 있었다.

### 6. 감사의 글

- 본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 건설기술연구사업(지반함몰 발생 및 피해저감을 위한 지반 안정성 평가 및 굴착·보강 기술개발, 19SCIP-B108153-05), 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 2020년도 중견연구자지원사업(NRF-2019R1A2C2088962), 한국연구재단 - 현장맞춤형 이공계 인재양성지원사업(No.2017H1D8A1030599), 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(No.20204030200090), 그리고 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2020-2020-0-01655).