

굴착유발 지반변위에 의한 인접구조물의 거동 및 손상도 예측 Building Response to Excavation-Induced Ground Movements and Damage Estimation

손무락¹⁾, Moorak Son, E. J. Cording²⁾

¹⁾ 특허청 건설기술과 토목사무관, Deputy Director, Dept. of Construction Technology, Korean Intellectual Property Office

²⁾ Professor at the University of Illinois at Urbana-Champaign.

SYNOPSIS : New infrastructures and buildings are being constructed increasingly in congested urban areas, and excavation-induced ground movements often cause distortion and damage to adjacent buildings. Protection of adjacent structures occupies a major part of the cost, schedule and third-party impacts of urban development. To limit damage or mitigate their effects on nearby structures, it is highly important to understand the whole mechanism from excavation to building damage, and to estimate building damage reliably before excavation and provide appropriate measures. This paper investigates the effects of excavation-induced ground movements on nearby structures, considering soil-structure interactions for ground and structures, and a building damage criterion, which is based on the state of strain, is proposed. The criterion is compared with other existing damage estimation criteria and a procedure is finally provided for estimating building damage due to excavation-induced ground movements.

Key words : Excavation, Ground movements, Building damage, Damage estimation criterion, Soil-structure interactions

1. 서 론

다양한 사회기반시설 및 신축건물 건설로 인한 지반굴착공사가 복잡한 도심지에서 여러 가지 문제점을 야기 시키고 있다. 특히, 굴착공사로 인해 유발된 지반변위가 인접구조물에 변형과 손상을 유발시켜 민원을 야기 시킬 뿐만 아니라 공사기간을 지연시키고 공사비를 증가시키는 주요 원인이 되고 있다. 이러한 문제점을 줄이기 위하여 지반굴착공사가 인접구조물이나 시설물에 미칠 수 있는 영향을 굴착공사가 실시되기 전에 미리 예측하여, 발생될 수 있는 문제점을 최소화하는 것은 매우 중요한 일이다. 그렇게 하기 위해서는 지반굴착에 따른 벽체의 거동뿐만 아니라 인접지반의 거동특성, 지반/구조물 상호작용에 대한 폭넓은 이해가 요구되며, 또한 인접구조물의 예상 손상도를 신뢰성 있게 예측할 수 있는 방법과 적절한 보강 및 대체공법이 필요하게 될 것이다. 따라서 본 논문은 굴착유발 지반변위에 의해 영향을 받는 인접구조물의 거동을 구조물 및 지반의 특성에 따라 조사 및 분석하여 보다 합리적이고 신뢰성 있는 손상도 예측/평가를 위한 방법을 제시하고자 한다. 또한, 구조물의 손상정도를 미리 예측하고 평가하기 위해 변형률 상태이론에 근거해 개발된 손상도 예측/평가기준의 개발 배경을 설명하고 기존의 다양한 예측/평가기준들과의 비교를 통해 개발된 손상도 예측/평가기준의 차이점과 특징을 제시한다.

2. 지반굴착과 인접구조물 손상

신축건물, 주차시설, 개착식 지하철, 가스나 상.하수도 파이프 시설물 등을 설치하기 위해서 지반굴착이 도심지 곳곳에서 행해지고 있다. 이와 같은 굴착공사를 함께 있어서 지반구조물 자체의 안전한 시공이 도모되어져야 할 뿐만 아니라 인접구조물 및 시설물에 대한 영향을 최소화 시켜야 한다. 하지만 여러 이유로 인해 지반굴착으로 발생된 지반변위가 주변구조물에 영향을 미치는 사례가 종종 발생하고 있다. 이와 같은 도심지에서의 굴착유발 발생한 문제점을 최소화 하기 위해선 굴착면, 주변지반, 및 인접구조물의 상호연계된 거동에 대한 폭넓은 이해가 필요하다. 지반굴착시 유발되는 지반변위가 인접구조물에 영향을 미치는 과정은 일반적으로 그림 1과 같은 메커니즘을 따른다. 지반을 굴착하면 지반손실이 여러 가지 요인에 의해서 발생되는데, 이와 같은 요인에는 지보재의 지연설치, 벽체의 치짐 및 침하, 과도한 굴착깊이, 벽체를 통한 토사유실 등이 이에 포함된다. 굴착면에서의 지반손실은 주변지반에 영향을 미치고 주변지반의 특성(상대밀도 등)에 따라 지표면에서의 침하량은 굴착면에서의 지반손실량보다 크거나 작을 수 있다. 일반적으로 느슨한(loose) 모래질 지반에서는 지표면에서의 침하량이 굴착면에서의 지반손실량보다 크며 촘촘한(dense) 모래질 지반에서는 지반매체에서의 부피팽창으로 인해 침하량은 지반손실량보다 작다. 비배수 점토지반에서는 침하량과 지반손실량은 근사하다고 생각할 수 있다. 굴착으로 인한 벽체변위는 주변지반을 통해 지표면에서의 침하 및 수평변위로 이어지고 지상구조물은 이와 같은 변위에 노출되어 지반/구조물의 상호작용에 의해 영향을 받게 된다.

3. 지반/구조물 상호작용과 구조물 변형

지반굴착에 의한 지반변위 예측은 많은 연구와 노력에 의해서 발표되었지만 대부분의 연구와 노력은 Free-Field(구조물이 존재하지 않은 현장) 조건하에서 이루어 졌고 지반/구조물 상호작용을 고려한 인접구조물 거동에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 아마도 지반/구조물 상호작용에 의한 구조물 거동을 측정하고 산정하는데 있어서 관련된 복잡하고도 어려운 문제 때문인 것으로 생각된다. 동일한 조건의 지반변위에 의해 인접건물이 받는 영향은 지반 및 구조물 조건에 따라 상당히 다르다. 그럼에도 불구하고 지반굴착에 따른 인접구조물 손상도 예측을 위한 많은 기준들은 이러한 지반/구조물 상호작용에 대한 영향을 고려하지 않고 있는 실정이다. 그림 2는 같은 크기의 지반변위 조건에서, 동일한 구조물이 지반의 강성에 따라 상당히 다른 거동을 나타낸다는 것을 보여주고 있으며, 그림 3과 4는 서로 다른 두 종류의 구조물(조적식 구조물과 프레임 구조물)에 대해 지반변위 및 지반강성이 동일하게 적용되더라도 구조물은 매우 다른 거동을 나타내는 것을 보여주고 있다. 그림 3은 두 구조물 모두 크랙이 발생되지 않는 탄성적 조건에서의 거동양상을 보여주고 있다. 두 구조물 모두 탄성변형이 발생하였지만 조적식 구조물에 훨씬 작은 변형이 발생하였다. 주목할 점은 두 구조물 모두 bay1과 bay3에서 매우 유사한 각변위(β)가 발생하였고 bay2에서는 상대적으로 작은 각변위가 발생하였다. 하지만 프레임구조물에서 발생한 각변위가 조적식 구조물에서의 각변위보다 훨씬 큰 값을 나타냈었다. 그림 4

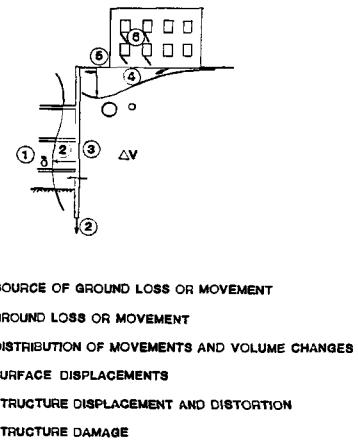


그림 1. 지반굴착에 따른 구조물 손상 (Cording, 1984)

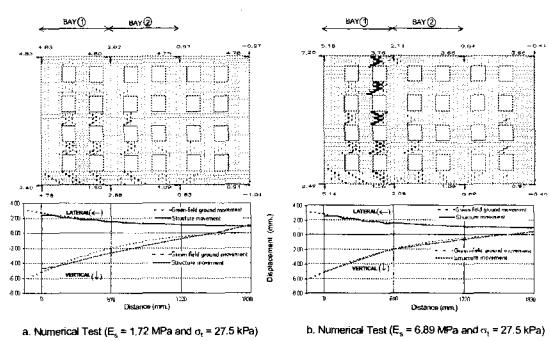


그림 2. 구조물 손상에 대한 지반강성의 영향, 1/10 scale (Son, 2003)

는 조적식 구조물에 크랙이 발생했을 경우 두 구조물의 거동을 비교하고 있다. 조적식 구조물에는 상당한 양의 크랙이 발생하였고 프레임구조물과 비교하여 bay1에서는 상대적으로 큰 각변위(β)가 발생하였고 bay3에서는 상대적으로 작은 각변위가 발생하였다. 조적식구조물은 크랙의 발생 후 강성이 상당히 저하되어 프레임구조물 보다 오히려 크랙발생부위에서 보다 큰 연성(flexible)적 특성을 나타내어 bay1에서의 각변위는 증가하였으나 bay3에서의 각변위는 오히려 감소하였다. 이와 같은 조적식구조물에서 발생한 변형을 분석해 보면 크랙이 발생되지 않은 조적식구조물은 크랙이 발생된 조적식구조물과 비교하여 보다 큰 틸트(tilt)와 보다 작은 기울기(slope)가 발생하였다. 상당한 양의 크랙이 발생한 조적식구조물은 주어진 지반변위를 따라 거의 같은 크기만큼 변형하였는 반면 크랙이 발생하지 않은 조적식구조물은 보다 큰 강성으로 인해 주어진 지반변위를 상당히 변경시켜 상대적으로 작은 변형이 발생하였다. 이와 같이 서로 다른 두 구조물에서 거동분석은 지반굴착과 관련한 인접구조물의 손상도를 예측하는 점에 있어서 다음과 같은 매우 중요한 결과를 제시하였다. 두 구조물 모두 같은 크기의 지반변위에 노출되어 같은 크기의 처짐비(deflection ratio, $\Delta/L=6.0e-4$)를 겪었지만 두 구조물에는 앞서 언급한 바와 같이 상당히 다른 양상의 변형이 발생되었다. 두 구조물의 변형거동을 분석해 본 결과, 구조물 변형에 있어서 틸트(tilt)의 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있었으며, 이는 인접구조물의 손상도를 예측/평가함에 있어서 반드시 고려되어야 할 요소로 판단되며, 구조물의 변형에 있어서 틸트의 영향을 고려하지 않는 처짐비(deflection ratio)의 요소는 인접구조물의 손상도 예측을 위해 사용될 수 있는 적절한 요소라고 생각되지 않는다. 상기 구조물에 대한 거동해석으로부터 구조물에서의 발생된 크랙이 지반변위에 의한 구조물의 거동에 상당한 영향을 미친다는 것을 알았으며, 이로부터 크랙의 영향을 고려하지 않는 탄성해석은 구조물 거동에 대해 잘못된 결과를 초래할 수 있으며 지반굴착에 따른 인접구조물의 거동분석은 반드시 구조물에서의 크랙발생을 고려한 지반/구조물 상호작용 하에서 이루어져야 한다는 것을 알 수 있었다.

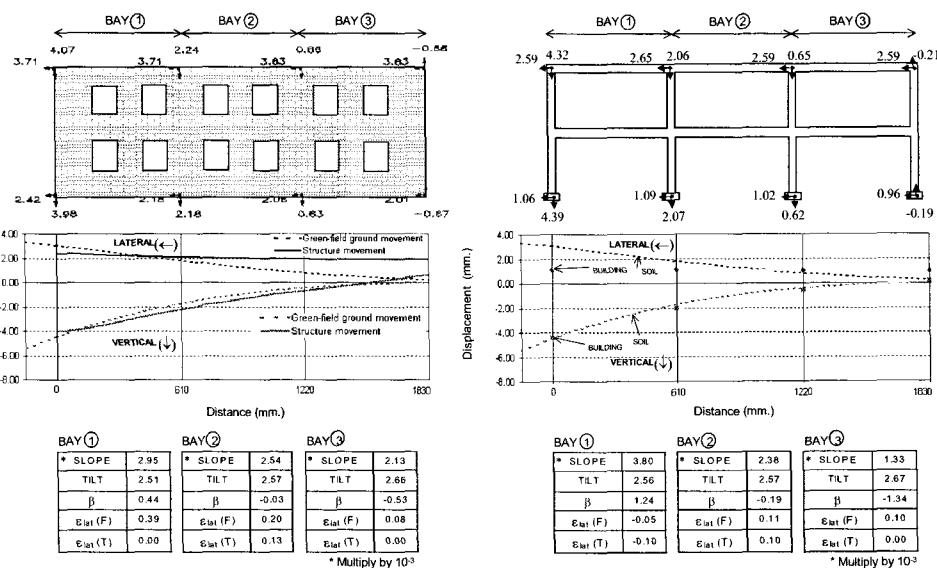


그림 3. 조적식 구조물과 프레임 구조물의 거동비교 (탄성적 조건에서의 구조물)

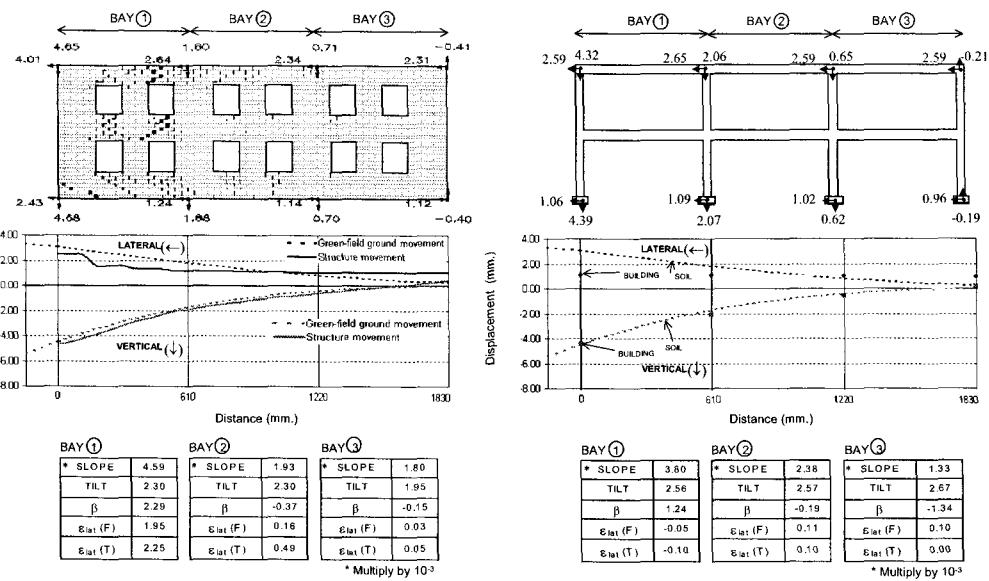


그림 4. 조적식 구조물과 프레임 구조물의 거동비교 (크랙이 발생한 경우)

4. 인접구조물 손상도 예측을 위한 기준 예측/평가기준과 특징

구조물의 자중 등에 의한 지반침하와 관련하여 구조물에서의 손상을 예측하는 기준은 Skempton and MacDonald (1956)와 Bjerrum (1963)에 의해서 제시되었지만 지반굴착이나 터널굴착과 같이 지반의 수직침하와 수평면위를 동시에 고려하는 것으로서 흔히 사용되고 있는 예측/평가기준은 Boscardin and Cording (1989), Burland (1995), 및 Boone et al. (1999)에 의한 기준들이 있다. 각각의 기준들은 계획 및 설계단계에서 자주 사용되어 왔고 또한 현재까지도 사용되고 있지만, 각 기준의 개발배경과 제한사항이 무엇인지를 알고 사용하는 이들은 그리 많지 않은 것 같다. 본 논문의 서론에서 언급한 바와 같이 본 논문은 이러한 기준의 예측/평가기준의 문제점들을 제시하고 새롭게 개발된 예측/평가기준을 제시하여 인접구조물의 손상도 예측이 보다 객관적이고 신뢰성 있는 토대위에서 이루어지도록 하는 것이다.

그림 5는 Boscardin and Cording (1989)에 의해서 제시된 예측/평가기준을 보여주고 있으며, 예측/평가를 위한 인자로서 각변위 (angular distortion, β)와 수평변위(horizontal strain, ϵ_h)가 사용되고 있다. Boscardin and Cording은 구조물을 묘사하기 위해 단순화되고 집중하중을 받는 깊은빔 모델을 사용하였으며, 구조물에서의 손상정도를 구분하기 위하여 한계인장변형률을 사용하였다. 구조물을 묘사하기 위해 사용된 빔의

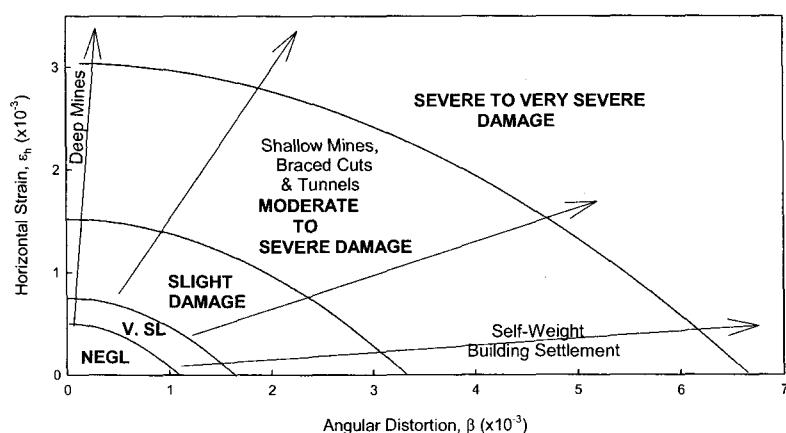


그림 5. 손상도 예측/평가 기준 (Boscardin and Cording)

종방향 탄성계수와 전단탄성계수의 비 (E/G)는 2.6이 사용되었고 구조물의 길이와 높이 비 (L/H)는 1로 가정되었다. 이와 같은 구조물의 단순한 묘사 및 적용된 가정들을 가지고 조건이 다른 다양한 구조물의 손상도 예측을 하기에는 여러 가지 문제점이 발생될 수 있다.

그림 6은 Burland (1995)의 의해서 제시된 예측/평가기준을 보여주고 있으며, 예측/평가를 위한 인자로서 처짐비(deflection ratio, Δ/L)와 수평변위(horizontal strain, ϵ_h)가 사용되고 있다. Boscardin and Cording과 마찬가지로 Burland도 구조물을 묘사하기 위해 단순 지지되고 집중하중을 받는 깊은빔 모델을 사용하였으며 구조물에서의 손상 정도를 구분하는 한계인장변형률은 Boscardin and Cording이 제시한 값들이 사용되었다. 마찬가지로 구조물을 묘사하기 위해 사용된 빔의 종방향 탄성계수와 전단탄성계수의 비 (E/G)는 2.6이 가정되었고 구조물의 길이와 높이 비 (L/H)는 1이 사용되었다. 이와 같은 구조물의 단순한 묘사 및 적용들을 가지고서 조건이 다른 다양한 구조물의 손상도 예측을 하기에는 마찬가지의 여러 가지 문제점이 발생될 수 있다.

그림 7은 Boone et al. (1999)에 의해서 제시된 예측/평가기준을 보여주고 있으며, 예측/평가를 위한 인자로서 누적된 크랙의 크기가 사용되고 있다. 구조물을 묘사하기 위해 단순 지지되고 등분포하중을 받는 깊은빔 모델이 사용되었으며 구조물에서의 손상정도를 구분하는 크랙의 크기는 Burland et al. (1977)에 의해서 제시된 값들이 기준으로 사용되었다. 구조물을 묘사하기 위해 사용된 빔은 지반변위를 그대로 따라서 변형되고 중립축은 빔의 도심에 있는 것으로 가정되었다. 지반의 수평변위 패턴은 침하패턴과 동일한 것으로 가정되었고 수평변위는 구조물을 묘사하는 빔의 전 길이에 걸쳐서 고르게 적용되는 것으로 가정되었다. 적용된 침하 및 수평변위에 의한 빔의 변형된 기하학적인 관계 (Anderson and Mikhail, 1985)로부터 인장변형률과 전단변형률이 구해지고 이와 빔의 길이로부터 누적된 크랙의 크기가 계산되게 된다. 서로 다른 형태의 구조물에 대해선 인장변형률이 수정되어 적용되었고 구조물의 길이 또한 단부의 구속여부에 따라 달리 적용되었다. 이와 같이 Boone et al.의 기준은 실제조건과는 서로 다를 수 있는 많은 가정조건에 근거하여 개발되었으며, 또한 누적된 크랙의 크기를 구조물의 손상정도를 예측/평가하는 인자로서 사용하는 것은 적절하지 않을 수 있다. 왜냐하면, 작은 크기의 여러 크랙들은 구조물의 안전 및 보강에 있어서 별 문제가 되지 않을 수 있지만 하나의 큰 크랙은 심각한 문제를 발생시킬 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라 종방향의 인장변형률(ϵ_l)과 주 인장변형률(ϵ_p)의 차에 의해 계산된 누적된 크랙들의 손상정도를 구분하는 곡선이 원형의 형태를 이룬다는 것도 의문시 되는 점이다.

이상에서 언급한 바와 같이 기존의 예측/평가기준들은 여러 가정조건을 근거로 하여 개발되었고 이로 인해 실제 현장구조물에 적용하기에는 많은 문제점들이 발생될 수 있고 제약사항이 따르게 된다. 따라서 본 논문에서는 기존의 이러한 여러 가정조건에 따른 문제점들을 해결할 수 있는 변형률 상태이론에 근거해 새롭게 개발된 손상도 예측/평가 기준이 제시되어진다.

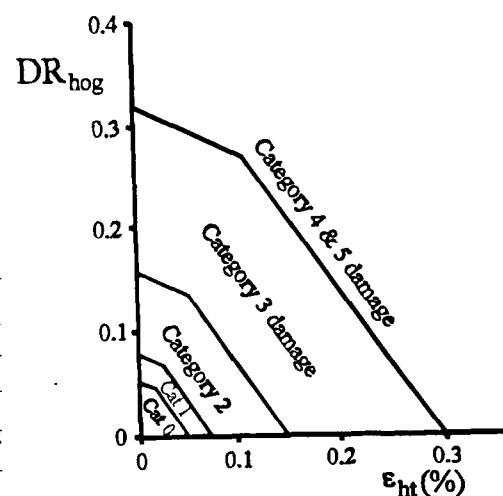


그림 6. 손상도 예측/평가기준 (Burland, 1995)

그림 6. 손상도 예측/평가기준 (Burland, 1995)

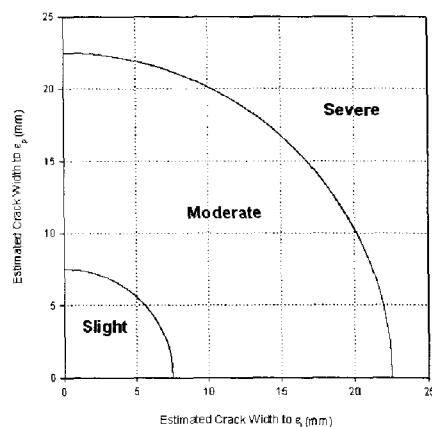


그림 7. 손상도 예측/평가기준 (Boone et al., 1999)

5. 인접구조물 손상도 예측기준의 개발과 손상도 예측절차

앞 절에서 언급한 바와 같이 기존의 인접구조물 손상도 예측/평가기준은 여러 가지의 가정조건으로 인해 현장에서 마주치는 다양한 구조물에 적용함에 있어서 여러 제한사항이 따르게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하고 다양한 구조물에 아무런 제한사항 없이 적용될 수 있는 변형률 상태이론 (the state of strain theory)에 근거해 개발된 인접구조물 손상도 예측/평가기준이 Son and Cording (2005)에 의해서 제시되었다. 새로이 개발된 예측/평가기준은 Boscardin and Cording (1989)이 제시한 예측/평가기준의 가정 및 접근방법에 따른 문제점을 해소하고 일반화된 기준을 제시할 수 있도록 수정 및 업데이트 되었다. 새로이 개발된 기준에 있어서 손상도 정도의 구분은 기존의 다양한 구조물에 있어서 지반변위와 건물손상에 대한 상당한 현장관찰 자료와 패널 등에 대해서 실시된 실험결과 등에 근거해서 Boscardin and Cording (1989)이 사용한 한계인장변형률이 사용되었으며 새로운 기준의 기본 개발배경은 다음과 같다. 하나의 구조물 혹은 구조물의 한 섹션에 있어서의 변형은 구조물에서 발생하는 각변위 (angular distortion)와 수평변형률 (lateral strain)의 조합에 의해 일어나고 최대 변형률은 각변위와 수평변형률의 조합에 의해 발생되는 최대 주인장 변형률에 의해서 결정되어 진다는 개념에 근거하여 새로운 예측/평가기준이 개발되었다. 그럼 8은 새롭게 개발된 예측/평가기준을 보여주고 있으며 동시에 손상도 예측의 신뢰성을 검증하기 위해 새로운 현장자료, 실태형 모형실험, 수치해석 (Son, 2003) 등으

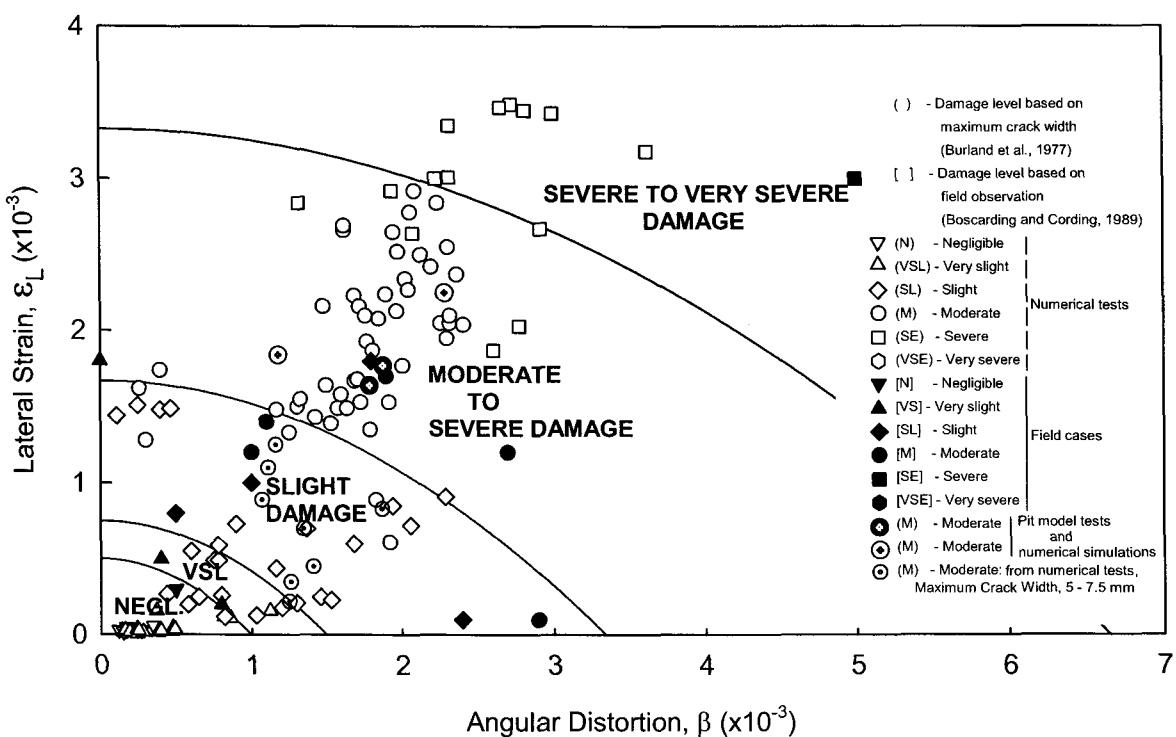


그림 8. 손상도 예측/평가 기준 (Son and Cording, 2005)

로부터 얻어진 결과들이 새롭게 개발된 기준상에 플롯되었다. 그림에서 보는 바와 같이 새롭게 개발된 기준은 구조물의 관찰된 손상도를 매우 잘 예측하였으며 이로부터 구조물의 손상도 예측에 있어서 상당한 신뢰성이 있음을 알 수 있었다. 새롭게 개발된 손상도 예측/평가 기준의 결과를 기존의 예측/평가기준 중의 하나이며 또한 자주 사용되는 기준중의 하나인 Burland (1995)의 예측/평가기준과 비교를 해

보았다. 그림 9는 Burland (1995)가 제시한 기준상에 동일한 현장자료, 실대형 모형실험, 수치해석의 결과 데이터가 플롯된 것을 보여준다. 그림에서 보는바와 같이 Burland의 기준은 관찰된 구조물의 손상도를 과소평가하는 경향이 있었으며 이와 같은 이유로서 앞 절(3)에서 이미 언급한 바와 같이 Burland 기준에서 예측/평가인자로서 사용하는 첨진비 (deflection ratio)는 구조물 변형과 관련하여 중요한 요소 중의 하나인 틸트(tilt)의 영향을 고려하지 않고 있기 때문이다. 이와 같은 두 기준의 직접적 비교로부터 새롭게 개발된 일반화된 손상도 예측기준이 기존의 Burland기준보다 구조물의 손상도를 더욱 더 타당성 있고 신뢰적으로 예측함을 알 수 있었다. 다시 말해서 변형률 상태이론

에 근거해 새롭게 개발된 기준은 각변위 (angular distortion)를 예측/평가인자로 사용함으로서 구조물의 틸트 영향을 고려하고 있으며 또한 구조물에 크랙이 발생한 후의 변형도 구조물에 발생하는 변형률에 의해서 고려되게 됨으로써 구조물의 손상도 예측을 보다 신뢰성 있게 예측할 수 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 손상도 예측기준을 사용하여 지반굴착시 인접구조물의 손상도를 예측하는 방법은 그림 10에 보여지는 바와 같은 단계적인 절차에 의해서 이루어 질 수 있다. 먼저 지반굴착공사에 따른 Free-Field 조건에서의 지반변위를 다양한 방법에 의해서 결정하여야 한다. 그런 다음 보수적인 결과를 초래하는 최대침하량과 기울기의 기준을 가지고 서 일차적인 예측/평가를 하여 구조물이 손상 허용기준 내에 있는지를 판단하여야 한다. 예측/평가된 값이 허용기준치 내에 있을 때는 더 나아간 조사는 할 필요가 없으며, 만약 이러한 초기단계에서 예측/평가된 값이 구조물의 손상 허용기준을 벗어날 땐 보다 상세한 평가를 위해 다음단계를 실행한다. 구조물의 영향을 고려하지 않은 Free-Field 조건에서 결정된 예상 지반변위에 의해 발생될 수 있는 구조물 손상을 변형률 상태이론에 근거해 새롭게 개발된 예측/평가 기준을 이용하여 평가하여 예측된 구조물의 손상이 허용기준을 벗어날 땐 지반/구조물 상호작용을 고려한 보다 상세한 평가가 필요하다. 이러한 지반/구조물 상호작용을 고려한 보다 상세한 평가에 의해서도 예측된 구조물손상도가 허용기준을 초과할 땐 여러 가지 보강조치를 취해야 하며, 여기에는 굴착공법변경, 공사절차 조절, 지보재 보강, 지반보강, 구조물보강, 다른 공사부지 선정 등이 고려될 수 있다. 또한 구조물을 보수하거나 대체하는 방법도 하나의 대안일 될 수 있다. 이와 같은 단계적인 예측/평가방법은 지반굴착으로 인해 영향을 받을 수 있는 도심지에서의 상당한 양의 구조물을 평가하기 위해 소요되는 시간과 경비를 줄여 경제적인 손상도 예측/평가가 이루어지도록 한다.

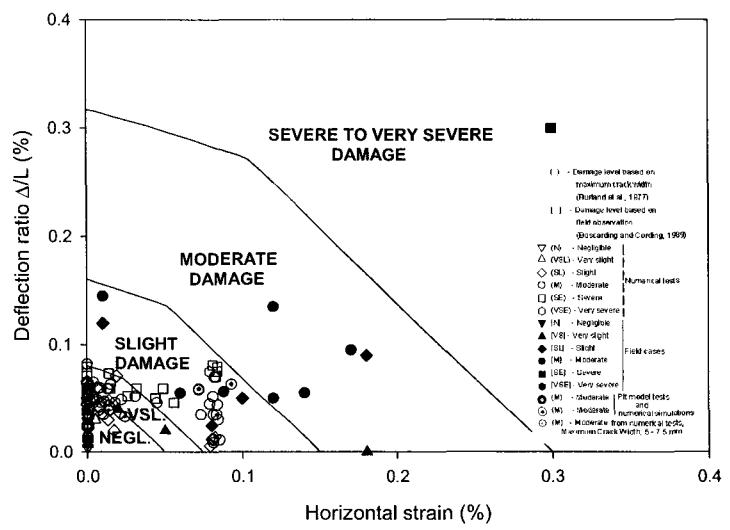


그림 9. 손상도 예측/평가기준 (Burland, 1995)

에 근거해 새롭게 개발된 기준은 각변위 (angular distortion)를 예측/평가인자로 사용함으로서 구조물의 틸트 영향을 고려하고 있으며 또한 구조물에 크랙이 발생한 후의 변형도 구조물에 발생하는 변형률에 의해서 고려되게 됨으로써 구조물의 손상도 예측을 보다 신뢰성 있게 예측할 수 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 손상도 예측기준을 사용하여 지반굴착시 인접구조물의 손상도를 예측하는 방법은 그림 10에 보여지는 바와 같은 단계적인 절차에 의해서 이루어 질 수 있다. 먼저 지반굴착공사에 따른 Free-Field 조건에서의 지반변위를 다양한 방법에 의해서 결정하여야 한다. 그런 다음 보수적인 결과를 초래하는 최대침하량과 기울기의 기준을 가지고 서 일차적인 예측/평가를 하여 구조물이 손상 허용기준 내에 있는지를 판단하여야 한다. 예측/평가된 값이 허용기준치 내에 있을 때는 더 나아간 조사는 할 필요가 없으며, 만약 이러한 초기단계에서 예측/평가된 값이 구조물의 손상 허용기준을 벗어날 땐 보다 상세한 평가를 위해 다음단계를 실행한다. 구조물의 영향을 고려하지 않은 Free-Field 조건에서 결정된 예상 지반변위에 의해 발생될 수 있는 구조물 손상을 변형률 상태이론에 근거해 새롭게 개발된 예측/평가 기준을 이용하여 평가하여 예측된 구조물의 손상이 허용기준을 벗어날 땐 지반/구조물 상호작용을 고려한 보다 상세한 평가가 필요하다. 이러한 지반/구조물 상호작용을 고려한 보다 상세한 평가에 의해서도 예측된 구조물손상도가 허용기준을 초과할 땐 여러 가지 보강조치를 취해야 하며, 여기에는 굴착공법변경, 공사절차 조절, 지보재 보강, 지반보강, 구조물보강, 다른 공사부지 선정 등이 고려될 수 있다. 또한 구조물을 보수하거나 대체하는 방법도 하나의 대안일 될 수 있다. 이와 같은 단계적인 예측/평가방법은 지반굴착으로 인해 영향을 받을 수 있는 도심지에서의 상당한 양의 구조물을 평가하기 위해 소요되는 시간과 경비를 줄여 경제적인 손상도 예측/평가가 이루어지도록 한다.

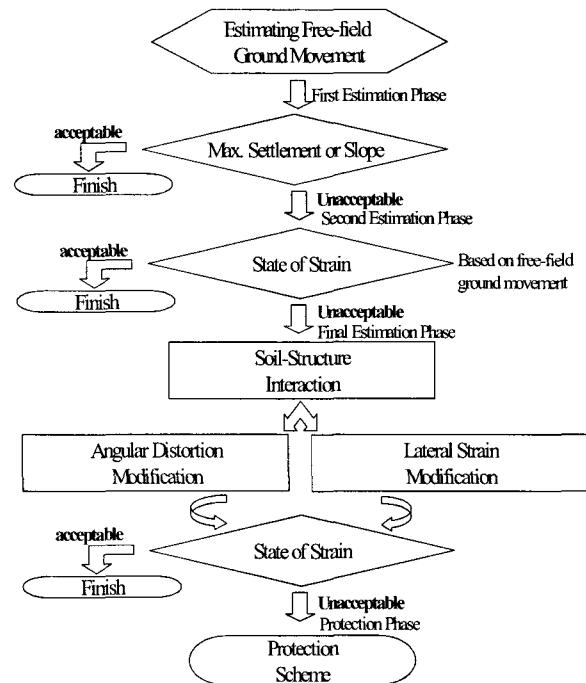


그림 10. 구조물 손상도 예측 절차 (Son, 2003)

6. 결 론

본 논문은 지반굴착 공사로 인한 지반변위가 인접건물에 미치는 영향을 조사하고 그로인한 인접건물 손상도 예측을 굴착공사가 실시되기 이전에 파악할 수 있는 방법에 대하여 기술하였다. 지반굴착으로 인한 인접건물의 손상도 예측에 있어서 필요한 기본지식을 제공하기 위해 지반굴착으로 인한 지반손실에서부터 구조물 손상까지의 단계별 메커니즘이 설명되었고 지반/구조물 상호작용 및 구조물의 종류에 따라 구조물에서 발생되는 거동양상이 매우 상이하다는 것을 알 수 있었다. 또한 기존의 손상도 예측을 위한 여러 기준들이 설명되었고 각각의 개발배경과 문제점들이 언급되었으며 이러한 기존 기준들의 문제점을 해소한 새로운 손상도 예측/평가 기준이 제시되었다. 새롭게 개발된 손상도 예측/평가 기준을 이용한 구조물 손상도 예측방법 및 절차가 제시되었으며 이를 통해 손상도 예측이 효과적이고 경제적으로 이루어지도록 하였다. 지반굴착으로 인한 인접구조물의 영향을 신뢰성있게 파악하기 위해서는 현장 지반조건과 시공조건에 따른 지반변위거동과 지반/구조물 상호작용에 대한 폭넓은 이해가 요구된다. 따라서 지반굴착으로 인한 지반변위와 인접구조물의 거동에 대한 지속적인 계측, 관찰, 및 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. Anderson, J. M. and Mikhail, E. M. (1985). *Introduction to surveying*, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, NY.
2. Bjerrum, L. (1963), "Discussion on: *Proceedings of the European conference on soil mechanics and foundation engineering, vol III*", Norwegian Geotechnical Institute, Publ. No 98, Oslo, Norway, pp. 1-3.
3. Boone, S. J., Westland, J., and Nusink, R. (1999). "Comparative evaluation of building response to an adjacent braced excavation", *Can. Geotech. J.*, 36, pp. 210-223.
4. Boscardin, M. D. and Cording, E. J. (1989). "Building response to excavation-induced settlement", *ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division*, Vol. 115, No. GT1, pp. 1-21.
5. Burland, J. B., 1995. "Assessment of risk of damage to buildings due to tunneling and excavation", *Proceedings of 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, IS-Tokyo, Japan.
6. Burland, J. B. and Broms, B. B., and de Mello, V. F. B. (1977). "Behavior of foundations and structure", *Proc., 9th Int'l Conf. on Soil Mech. and Foun. Eng.*, II, State of the Art Report, Tokyo, Japan, 495-546.
7. Cording, E. J. (1984). "Use of empirical data for braced excavations and tunnels in soil", *Lecture Series*, Chicago ASCE, Chicago, IL.
8. Son, M. (2003). "The response of buildings to excavation-induced ground movements", *Ph.D. Thesis*, University of Illinois at Urbana-Champaign.
9. Son, M. and Cording, E. J., 2005. "Estimation of Building Damage Due to Excavation-Induced Ground Movements", *J. Geotech. Engrg., ASCE*, 131(2), pp. 162-177.
10. Skempton, A. W. and MacDonald, D. H. (1956). "The allowable settlement of Buildings", *Proc., Inst. of Civ. Engrs.*, III, 5, 727-784.