

도로 성토 시 인근 구조물에 각변위기준 적용에 있어 계측시스템의 한계성

Limitation of Measurement System in Application of Angular Distortion Criterion to Structure Near Road Embankment

김태형[†] · 김동인¹⁾ · 김윤태²⁾ · 유상호³⁾ · 정용은⁴⁾ · 김성웅⁵⁾

Taehyung Kim · Dongin Kim · Yuntae Kim · Sangho You · Youngeun Jung · Sungwoung Kim

Received: October 15th, 2013; Revised: October 31st, 2013; Accepted: December 10th, 2013

ABSTRACT : Angular distortion due to differential settlement is one of the critical factors which influences on the stability and serviceability of a structure. The angular distortion criterion proposed by Bjerrum is generally used in practice. However, the measurement system used in field especially a road embankment site did not properly represent the angular distortion of a structure. The problem was related to the shortage and not proper installation of measurement gauges, and the incorrect understanding of the basic concept of angular distortion in interpretation of measurement data. These things were revealed by analyzing the measured data in the road embankment site. An improved measurement system has been suggested as a so-called “relative displacement measurement system” between columns with automatic measurement.

Keywords : Angular distortion, Differential settlement, Stability, Serviceability, Road embankment, Relative displacement measurement

요지 : 부등침하로 인한 각변위는 구조물의 안정성과 사용성에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이다. 실무에서는 현재 Bjerrum이 제안한 각변위기준이 널리 사용되고 있다. 하지만 현재 도로 성토 현장에서 적용하고 있는 계측시스템은 구조물의 각변위를 적합하게 나타내지 못하고 있다. 이와 같은 문제는 충분하지 못한 계측 수, 부정확한 계측기 설치, 계측된 자료의 해석에 있어 각변위 기본개념의 잘못된 이해 등과 관련이 된다. 본 연구에서 도로 성토 현장에서 얻어진 데이터의 분석을 통해 이와 같은 문제점을 규명하였다. 도로 성토 현장에서 적용할 수 있는 자동화된 상대변위 계측시스템이라는 개선된 계측시스템을 제안하였다.

주요어 : 각변위, 부등침하, 안정성, 사용성, 도로 성토, 상대변위측정

1. 서론

균등침하의 경우 구조물의 구조적 안정성과 사용성에는 별문제가 없으며, 대부분의 경우 부등침하가 구조물의 구조적 기능적 문제를 야기하고 있다. 설계를 하는 엔지니어에게 각변위와 변위비 특히 최대 각변위와 최대 변위비가 큰 관심사이다. 기초의 침하 형상은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 여러 방법으로 표현하고 있다. Fig. 1은 기초침하를 나타낸 것으로 5개 지점의 원래 위치(A-E)로부터 이동된 위치(A'-E')가 표시되어 있다. 여기서, 침하(ρ)는 어떤 특정 위치에서의 수직 변위로 최대 침하(ρ_{max})는 C점에서 발생함을 알 수 있다. 부등침하($\delta\rho$)는 두 지점 사이의 침하 차이로 최대 부등침하량은 A점과 C점 사이에서 발생하고 있다. 각변위(angular distortion)는 δ_{AB}/L_{AB} 로 정의되는 두 점 사이의

경사이다. 상대변위(Δ)는 두 개의 기준점(A'E)을 직선으로 하는 선으로부터 최대 변위이고, 변위비(deflection ratio =

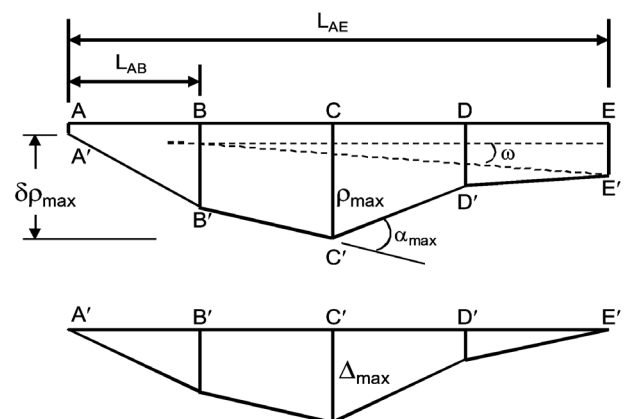


Fig. 1. Definitions of angular distortion and differential settlement

† Korea Maritime and Ocean University (Corresponding Author : kth67399@kmoou.ac.kr)

1) Korea Expressway Corporation

2) Pukyong National University

3) Samyoung Technology Corporation

4) Dongah Construction

5) Korea Maritime and Ocean University

curvature 곡률)는 Δ/L 상대변위 거리의 비이다. 기초의 부등침하 변형을 가장 신뢰성 있게 산정할 수 있는 방안으로 인용되고 있는 것은 대부분의 경우 변위비 보다는 각변위를 선호하고 있으며, 기존의 많은 연구가 각변위와 관련되어 진행되었다(Skempton & MacDonald, 1955; Bjerrum, 1963; Meyerhof, 1979; Gray, 2004; Kim et al., 2012, 2013).

각변위는 부등침하에 따른 구조물의 안정성과 사용성에 미치는 영향을 반영하기 위해 설계 및 시공관리에 적용된다. 현재 Bjerrum(1963)이 제안한 허용 각변위기준이 실무에 적용되고 있다. 하지만 이 기준은 구조물의 형식만을 고려하여 제시되었다. 각변위는 기초를 포함한 구조물의 형태, 높이, 강성, 기능 및 위치, 지반침하의 크기, 속도 및 분포 등 여러 가지 요인에 의존된다.

본 논문에서는 현재 적용되는 각변위기준이 도로 성토시 주변 구조물의 안정성을 평가하는데 어떤 문제점이 있는지를 계측값, 계측방법을 중심으로 분석하여 현재 계측시스템의 한계점을 규명하고, 가능한 대안을 제시하고자 한다.

2. 기존 연구

각변위는 허용 침하량과 더불어 부등침하에 따른 구조물의 안정성과 사용성에 미치는 영향을 설계에 반영하기 위해 인용되는 것으로 부등침하와 밀접한 관련이 있으므로 보통 같이 고려하고 있다.

Skempton & MacDonald(1955)는 각변위와 최대 부등침하량을 기초 종류에 상관없이 1/300과 38 mm(점토지반)를 제시하였다. 하지만 이 기준은 기울어짐(tilting)의 효과는 고려하지 않았다. 그것은 독립기초를 기준으로 제시되었기 때문이다. Gray(2004)는 최대 부등침하량은 1.75 inches(= 44 mm)를 제시하였다. 그리고 각변위는 국내 문헌에서와같이 1/300을 허용 각변위로 제시하였다. 이 각변위보다 크게 되면 눈으로 보이는 균열이 벽에 발생하고, 1/150을 초과 시 기둥이나

보의 손상이 우려된다고 지적하였다. Sowers(1962)는 구조물 형식에 따라 허용 가능한 기울어짐과 부등침하에 대해 기준값을 제안하였는데 약간은 보수적인 면이 있다. Sowers(1962)는 Polshin & Tokar(1957), Meyerhof(1979), Skempton & MacDonald(1956)의 자료를 참고하였으며, 최대 허용침하량이 건물의 높이와 넓이에 따라 영향을 있음을 지적하였다. U.S. Army(1990)의 Engineer Manual(1110-1-1904. engineering and design “settlement analysis”)에서도 각변위를 제시하고 있는데 기존의 기준과 별 차이가 없다. 다만 특징적인 것은 내부 구조물 부재의 늘어짐(sagging)과 올라감(hogging) 발생으로 인한 각변위 부분이 추가된 것이다.

현재 우리나라에서 일반적으로 적용되는 기준은 한국지반공학회(2009)의 구조물기초설계기준에 준하여 연동침하에 의한 인접시설물의 피해를 방지하기 위하여 건물에 균열이 없도록 하는 안정한계로 각변위 1/500을 적용하고 있다(Table 1). 아울러 최대 부등침하량은 38 mm를 적용하고 있다. 최대 부등침하량의 적용기준은 Skempton & MacDonald(1956)의 기준을 근거로 하여 제안된 것이며, 각변위의 경우 Bjerrum(1963)의 기준을 근거로 하고 있으나 Skempton & MacDonald(1956)의 선행 연구에 더해져 정해진 것으로 결국 Skempton & MacDonald(1956)의 기준에 근거를 두고 있다고 볼 수 있다. Meyerhof(1979)도 각변위와 구조물의 손상 정도의 관계를 제안하였는데 Bjerrum(1963)의 원래 기준과 별 차이가 없다.

3. 현장 현황 및 계측결과

3.1 현장 특성 및 구조물 형식

현장은 00구간 도로확장 공사구간 IC 인근이다(Fig. 2). 지층은 상부로부터 매립층, 사질토층, 점성토층으로 구성되며 강에 인접한 현장 특성으로 지하수위가 높고 점성토층의 심도가 43.0 m 정도로 매우 깊게 분포되어있다. 점성토

Table 1. Limiting angular distortion recommended by Bjerrum (1963)

Category of potential damage	Angular distortion
Danger to machinery sensitive to settlement	1/750
Danger to frames with diagonals	1/600
Safe limit for no cracking of buildings	1/500
First cracking of panel walls	1/300
Difficulties with overhead cranes	1/300
Tilting of high rigid buildings becomes visible	1/250
Considerable cracking of panel and brick walls	1/150
Danger of structural damage to general buildings	1/150
Safe limit for flexible brick walls, $L/H > 4^a$	1/150

^a Safe limits include a factor of safety. H=Height of building

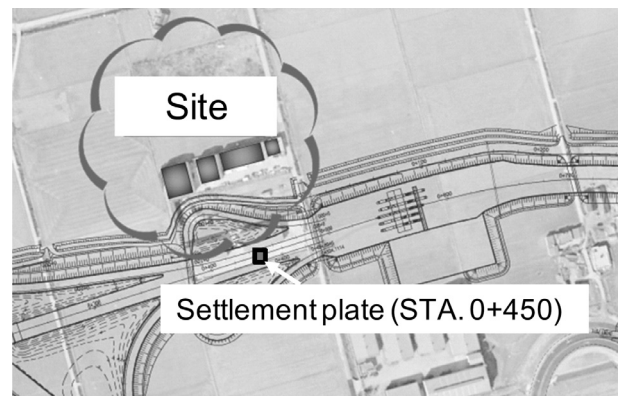


Fig. 2. Road expansion construction site

는 정규압밀점토로 비중 2.74, 간극비 1.615, 포화단위중량 16.97 kN/m^3 , 소성지수 23.64, 액성지수 1.35, 압축지수 0.84, 재압축지수가 0.08이다. 비배수전단강도는 심도별(D) $1.37D+16.8 \text{ t/m}^2$ 의 특성을 가지고 있다. 실시설계 당시 해당 위치의 계획고는 7.2 m이며, 예측침하량은 5.19 m로 운용 중 차량하중과 포장하중을 감안하여 1 m의 여성토를 실시하고 방치하는 것으로 계획되었다.

당 현장의 주변에 창고, 축사, 주택 등 여러 구조물이 인접해 있는 상황이다. 창고와 축사 구조물의 기초는 줄기초와 전면기초가 병행된 형태로 벽체 하부는 1 m RC로 되어 있고, 그 위는 판넬로 구성되어 있으며 기둥은 철골 H-beam으로 시공되어 있다. 바닥은 콘크리트 슬래브로 되어있다. 주택은 조적건물형식이다. 현재 성토가 실시되었으며, 이로 인해 구조물에 균열이 발생하여 민원이 발생한 상태로 앞으로의 시공 관리에 있어 주의가 요구되는 상황이다.

3.2 계측기 설치위치

Fig. 3은 계측기와 균열게이지 설치 평면도이다. A동, B

동, C동, D동 건물은 각각 주택, 창고 1, 창고 2, 축사를 나타낸다. 계측기는 구조물경사계 4개, 지표침하핀 5개, 건물침하핀 6개가 각각 설치되었다. 균열게이지는 시공 초기 균열이 발생한 위치에 설치하였고 B, C, D 각 건물당 4개씩 설치하였으며, A동 주택의 경우 총 7개소를 설치하여 추적 조사를 실시하였다.

3.3 계측 결과 및 분석

지표침하핀, 건물침하핀을 이용한 연직 변위량 계측결과 침하량은 인접시설물 안정성 검토기준인 최대 부등침하량 38 mm 와 최대 침하량 64 mm 를 초과하지 않은 허용 침하량 이내로 발생하고 있다(Fig. 4). 연직 변위 경향은 지점별로 불규칙하게 증가와 감소가 반복되는 특성을 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 성토에 따라 하부 연약지반의 압밀 진행으로 인하여 인접한 주변 하부 연약지반이 연동하여 침하와 융기가 반복적으로 발생하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 연약지반 상 연직배수공법으로 연약지반을 처리하는 성토 시공 시 단계별 거동 특성을 추정해 본 개념도로

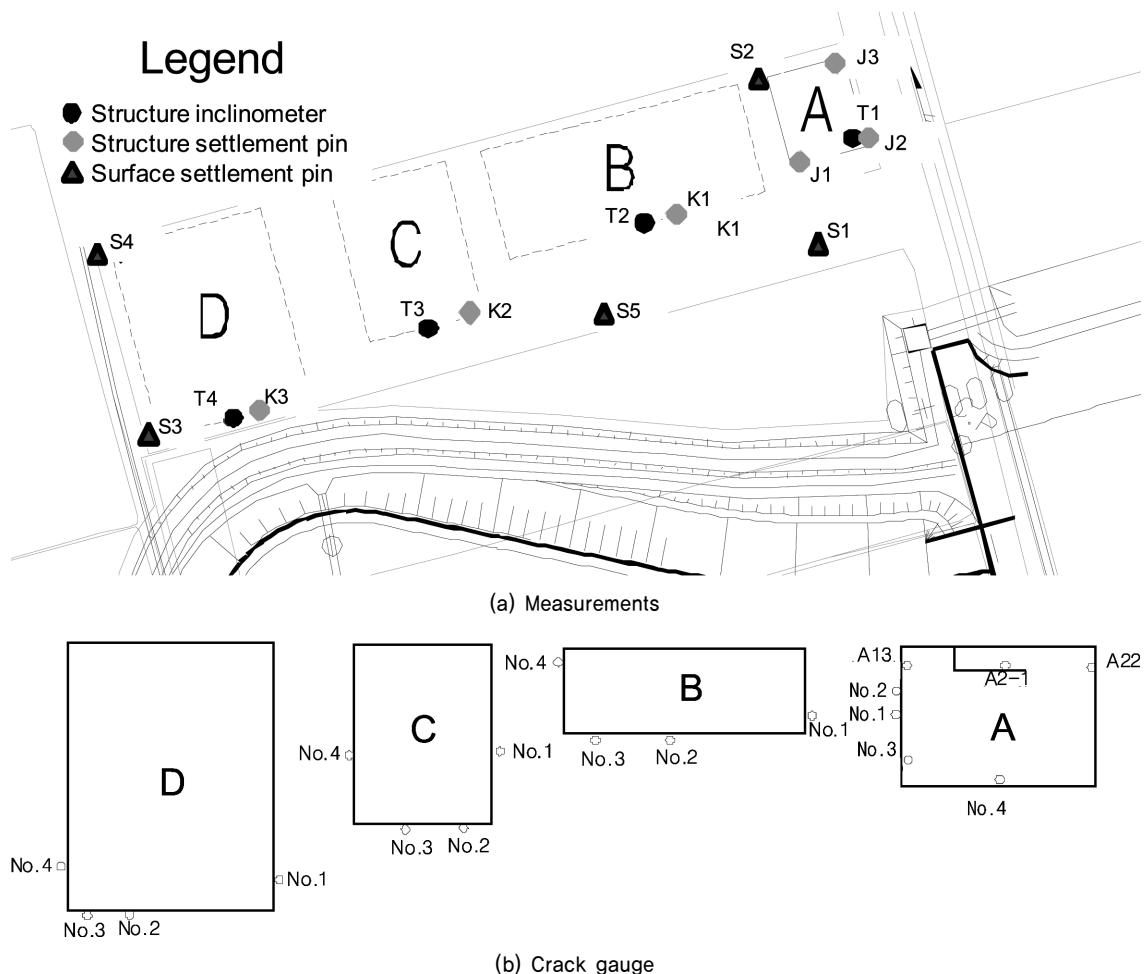


Fig. 3. Plan view of measurements and crack gauges

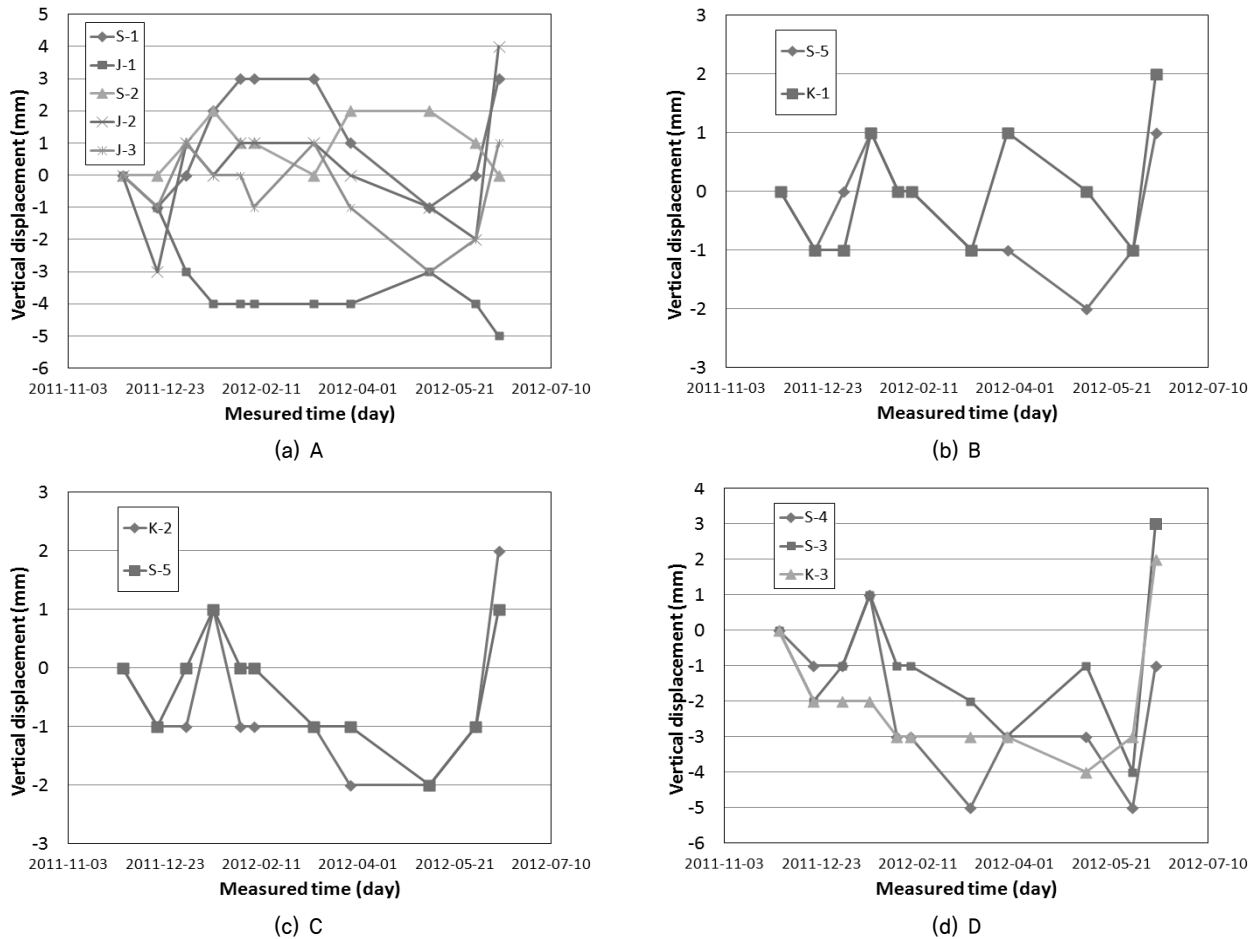


Fig. 4. Measurement data of structure and surface settlement pins

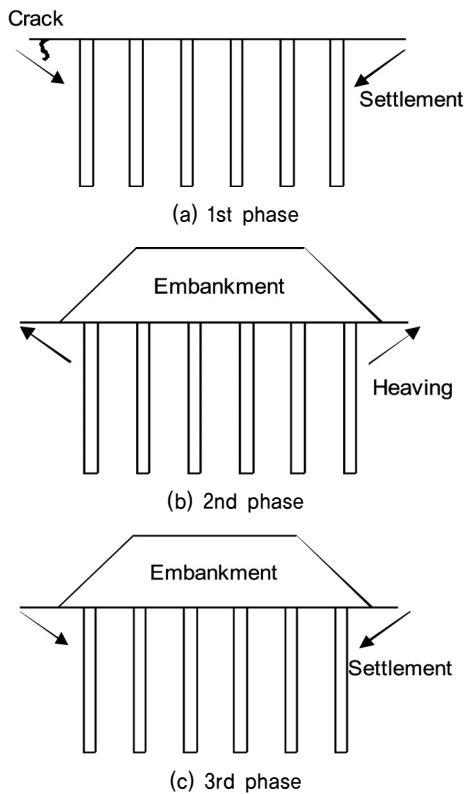


Fig. 5. Soft ground behavior due to embankment process

성토로 인한 지반의 침하와 용기를 잘 설명해주고 있다. 1단계로 PBD 타설 직후 지반교란으로 인해 지반의 강도저하가 발생하고 간극수의 배수가 PBD를 통해 진행됨에 따라 아래 방향으로의 침하와 PBD가 시공된 지반 쪽으로 수평 방향 변위가 발생한다. 이로 인하여 인접 지반에 초기 균열이 발생하기도 한다. 2단계는 성토 직후로 성토 직후 연약지반의 비배수 거동에 따라 성토체 외측 방향으로 수평 변위와 용기가 발생한다. 이때는 침하량은 매우 미소하고 상대적으로 수평 방향 변위가 많이 발생한다. 이로 인해 1단계 PBD시공 시 발생한 지반의 인장균열이 닫히는 결과를 유발한다. 3단계는 침하방지 단계로 과잉간극수압의 소산에 따라 침하가 가속되는 양상을 보이며, 성토체 아래 방향으로 침하와 성토체 안쪽 방향으로의 수평 변위가 발생한다. 성토(2단계)와 방치(3단계)에 따라 지반은 용기와 침하를 반복하게 된다.

참고로 본선부에서 성토와 침하량 관계 및 지표변위계의 관계는 Fig. 6과 같다. 성토 시 연약지반이 연동하여 용기가 발생하여 계측결과 양(+)의 연직 변위가 발생하고, 방치 시 지반이 침하하여 음(-)의 연직 변위가 발생하는 것을 Fig. 4와 Fig. 6을 통해 알 수 있다. 토공부와 인접할수록 성토 초기 양의 연직 변위의 양상이 크고 시간 경과와 함께 침하되

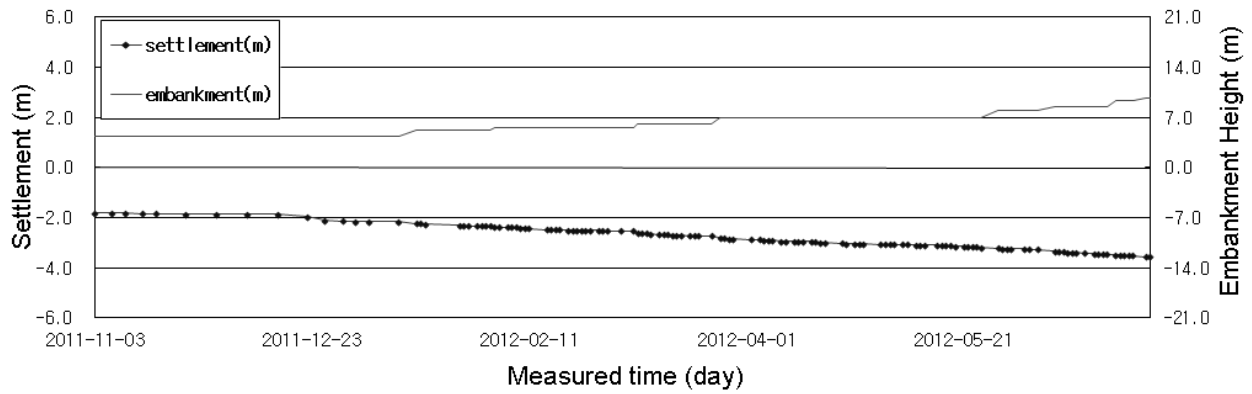


Fig. 6. Settlement and embankment histories at the center of road embankment (STA. 0+450)

는 양상을 보인다. 토공부에서 이격거리가 멀어질수록 융기하는 양상은 작으나 방치 시에는 침하하는 모습을 보인다. 이는 성토종료 이후에도 장기적인 침하의 발생 가능성을 나타낸다고 볼 수 있다.

Table 2. Measurement data of structure inclinometer

Date	Building			
	A	B	C	D
10.11.22	0	-	-	-
10.12.10	-1/12500	-	-	-
10.12.29	1/2325	-	-	-
11.12.01	1/4347	0	0	0
11.12.19	1/4347	1/20000	-1/12500	1/33333
12.01.03	1/5000	1/33333	-1/33333	-1/2857
12.01.17	1/20000	1/10000	-1/1538	-1/1666
12.01.20	1/10000	1/12500	-1/1587	-1/1724
12.04.19	1/4000	1/6666	-1/5000	-1/2222
12.05.16	1/3030	1/12500	-1/20000	-1/1282
12.05.25	1/2857	1/10000	-1/10000	-1/1369
12.06.01	1/12500	1/4347	-1/2857	-1/1428
12.06.13	1/3333	1/7692	-1/1538	-1/1204

경사계 계측결과(Table 2)도 연직 변위량 계측 결과와 같이 Table 1 기준에서 제시하고 있는 건물에 균열 발생 한계 기준인 1/500 보다 작아 건물에 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 경사계값도 연직 변위량과 유사하게 값이 커지다 작아지다 증가와 감소를 반복적으로 발생하고 있는 것으로 계속되었다. 이와 같은 경향은 앞서 언급했듯이 성토에 따라 하부 연약지반의 압밀 진행으로 인하여 인접한 주변 하부 연약지반이 연동하여 침하와 융기가 반복적으로 발생하고 있기 때문으로 판단된다.

하지만 균열계이지 계측값은 계측기 설치 이후 0.1~0.9 mm로 균열이 진행되고 있는 것으로 나타났다. 특히 2012. 05. 23~2012. 07. 16 기간 동안에 균열폭 변화가 크게 나타났는데, 이 기간에 발생한 건물의 연직방향 변위(1~7 mm) 발생과 연관성이 있는 것으로 판단된다(Table 3, Fig. 7). 특히 이 지역의 변위 경향이 하부 연약지반과 연동하여 침하와 융기가 반복적으로 발생하고 있어 건축물의 피로파괴를 유발하여 건물의 건전성에 부정적인 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 성토속도도 균열과 밀접한 관련이 있

Table 3. Measurement data of crack gauge

Building	Date	Displacement (mm)			
		NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
A	12.03.27	0.0	0.0	0.0	0.0
	12.05.23	0.0	0.0	0.0	0.0
	12.07.16	0.4	0.2	0.3	0.4
B	12.03.27	0.0	0.0	0.0	0.0
	12.05.23	0.0	0.1	0.1	0.0
	12.07.16	0.4	0.6	0.4	0.2
C	12.03.27	0.0	0.0	0.0	0.0
	12.05.23	0.0	0.2	0.0	0.0
	12.07.16	0.6	0.9	0.1	0.4
D	12.03.27	0.0	0.0	0.0	0.0
	12.05.23	0.0	0.1	0.1	0.0
	12.07.16	0.5	0.7	0.6	0.3



(a) B



(a) C

Fig. 7. Appearance of cracks

는 것으로 나타났는데 Fig. 6의 본선 성토-침하곡선을 보면, 2012년 5월 21일부터 짧은 기간에 성토가 지속되는 시기에 건물균열발생한계 기준보다 낮은 각변위에서도 균열이 발생하거나 균열의 크기가 증가하는 것을 Table 3을 보면 알 수 있다.

4. 각변위기준 적용의 한계

4.1 현장계측값의 불일치성

연직 변위량 계측결과 안정성 검토기준인 최대 부등침하량 38 mm를 초과하지 않은 허용 침하량 이내로 발생하고 있다(Fig. 4). 계측된 경사계값 역시 인접시설물 안정성 검토 기준인 건물에 균열이 없도록 하는 한계기준 1/500 보다 작아 구조물에 전혀 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(Table 2). 하지만 균열계이지 계측값은 계측기 설치 이후 0.1~0.9 mm로 균열이 진행되고 있는 것으로 나타났다(Table 3). 이것은 구조물의 균열을 판단하기 위해 설치된 계측기가 구조물의 균열 현상을 적합하게 나타내기에는 부족하다는 것을 알 수 있다.

4.2 현재 계측시스템의 한계

당 현장에서 부등침하와 각변위 고려를 위해 지표침하핀은 구조물 앞과 옆 지반에 설치하고 건물침하핀은 건물에 근접하게 설치하고 구조물 경사계는 각 구조물에 한 개씩 전면부에 직접 설치하였다. 설치된 계측기의 수가 부등침하와 각변위를 예상하기에는 많이 부족함을 알 수 있다. 예를 들어 부등침하와 각변위 예상을 위해서는 건물침하핀이나 지표침하핀의 경우 쌍으로 설치되어야 하는데 대부분 한 개 정도가 설치되었고, 두 개가 설치되었어도 계측기 사이의 간격이 너무 멀리 설치되어 부등침하와 각변위값을 산정할 수 없는 조건에 놓여있다. 측정 간 거리는 각변위 산정에 있어 매우 영향이 큰 요소로 너무 긴 경우 실제보다 각변위값이 낮게 산정된다.

Fig. 8은 Skempton & MacDonald(1956)가 제안한 각변위 결정에 사용된 구조물 기초의 형태이다. 이 그림에서 각변위는 기초와 기초사이(또는 기둥과 기둥 사이)의 경사이다. Skempton & MacDonald(1956)는 1956년도에 98개의 오래된 건물을 대상으로 침하량을 조사하였으며 기둥과 기둥 사이의 평균 거리는 약 5 m 정도로 판단된다. Day(1990)도 각변위 측정거리는 5m 정도를 제안하였는데 그 이유는 너무

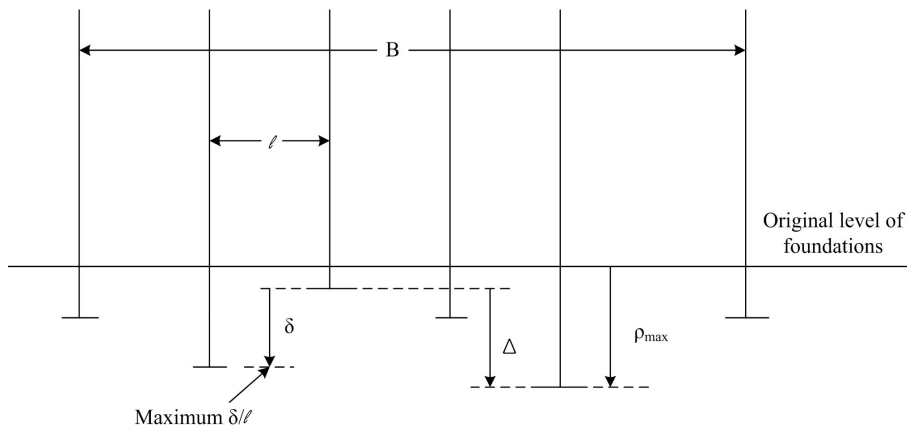


Fig. 8. Schematic diagram of measurement to allowable settlement and angular distortion used by Skempton and MacDonald (1956)

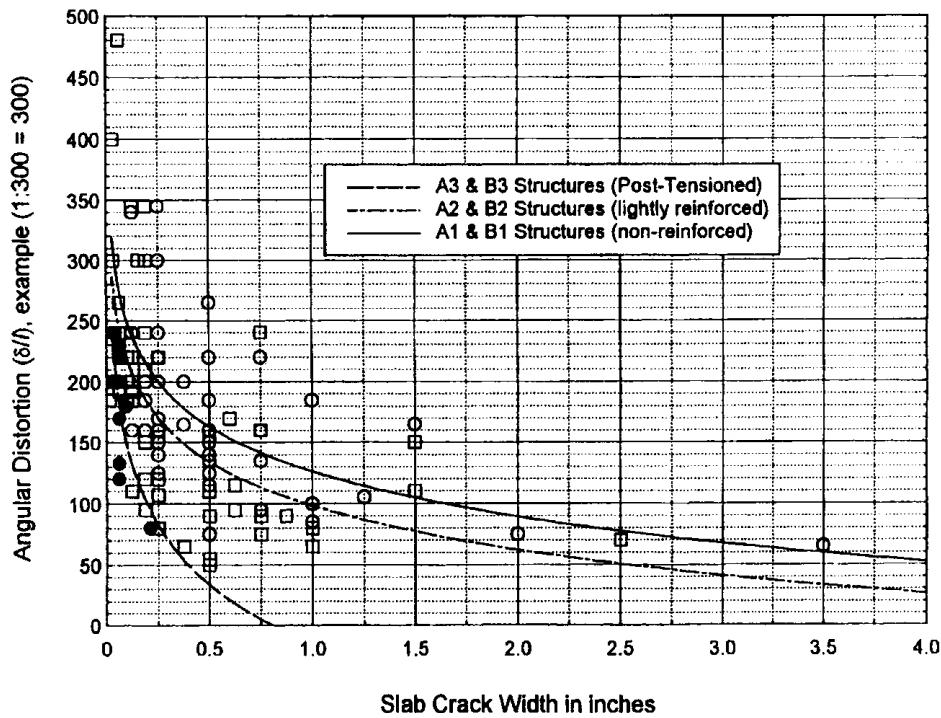


Fig. 9. Cracks and angular distortion depending on slab reinforced status (Marsh & Thoney, 1999)

거리가 작으면 국부적인 변형의 영향을 받을 수 있고 거리가 너무 멀면 변형영향이 미비할 수 있기 때문에 각변위 측정에 필요한 최소한의 거리를 5 m로 제시하였다.

또한, 지표침하편의 경우 지반의 침하를 산정하는 것으로 구조물과 관련된 부등침하나 각변위 산정을 직접적으로 할 수 없다. 그 이유는 지표침하편의 계측자료는 기초 형태, 기초 강성, 구조물 재료 등의 영향을 전혀 고려할 수 없기 때문이다.

일반적으로 전면기초가 독립기초에 비해 침하에 훨씬 저항이 크다는 것은 이미 알려져 있다. 이것은 Skempton & MacDonald(1956)가 제안한 독립기초와 Raft 기초의 허용 최대침하량 기준에서도 전면기초 효과를 분명히 알 수 있다. 점토지반에서 독립기초는 75 mm, Raft 기초는 125 mm 까지 허용하고 있다. Table 4는 U.S Army(1990)의 Engineer Manual(1110-1-1904. engineering and design “settlement analysis”)에서 상대변위가 1 inch일 때 각변위값을 나타낸 것으로 기초의 형태에 따라 서로 다른 값이 제시되었다. 전면기초가 다른 기초에 비해 적은 각변위값을 보이고 있다.

Marsh & Thoney(1999)는 기초의 강성에 따른 각변위와 균열 양상이 서로 다름을 보여주었다. 기초는 슬래브 기초로 두께 13 cm에 post-tensioned, lightly-reinforced, non-reinforced 세 종류로 시공된 구조물에 대해 얻은 결과로 Post-tensioned 기초의 경우 균열이 다른 두 경우에 비해 훨씬 적게 발생함을 알 수 있다. 1/4 inch(=0.6 cm)의 균열의 경우를 보면, no-reinforced 기초의 경우 각변위가 1/200에서 reinforced된

Table 4. Empirical Correlations Between Maximum differential movement (Δ) and Angular Distortion β (U.S. Army, 1990)

Soil	Foundation type	Approximate β for $\Delta = 1$ inch*
Sand	Mats	1/750
	Spread footings	1/600
Varved silt	Rectangular mats	1/1000 to 1/2000
	Square mats	1/2000 to 1/3000
	Spread footings	1/600
Clay	Mats	1/1250
	Spread footings	1/1000

기초의 경우는 1/170에서 각각 균열이 발생한 것을 알 수 있다.

벽체의 구성재료에 따라 서로 다른 각변위에서 균열이 발생한다. 다음 세 가지 경우를 비교해보면 그 차이를 분명히 알 수 있다. Skempton & MacDonald(1956)의 기준에 사용된 벽체는 대부분 강재나 콘크리트 구조물에 벽돌(brick panels) 구조물 또는 내벽력 벽돌벽(brick walls)으로 대각재 사용이 안 된 구조물이다. 즉 벽돌(brick)이 주재료인 것이다. Marsh & Thoney(1999)는 슬래브기초에 건물 벽은 나무 벽으로 안쪽은 석고판 바깥쪽은 회(벽토)를 바른 건물의 각변위와 구조물의 피해 정도를 살펴보았다. 표면적인 손상(cosmetic damage)은 각변위 1/450에서 3~4개 정도가 발견되었고, 대부분의 균열 문제가 각변위 1/300 이상에서 발생하였음을 알 수 있었다. Day(1990)는 약 10 cm 두께에 와이

어 매쉬가 들어간 슬래브기초로 시공된 나무골조 주택 34개에 대해 각변위와 균열 정도를 측정하였다. 측정 결과 표면적인 손상은 각변위 1/300에서 주로 발생이 되었고, 구조적인 손상은 각변위 1/100에서 발생하는 것으로 나타났다.

구조물 경사계를 이용한 각변위의 직접적인 산정도 문제를 가지고 있다. 구조물 경사계 측정 원리는 구조물 벽면에 경사계를 설치하여 각변위를 측정하고 있다. 이와 같은 방법은 현재 적용되고 있는 각변위기준을 직접 적용하는데 한계가 있다. 그 이유는 계측된 자료가 현재 적용되고 있는 관리기준의 전제조건을 만족시키지 못하기 때문이다. 각변위의 경우 기초(또는 기둥)의 임의 두 위치 간 상대적인 침하량을 거리로 나눈 것 인데(Fig. 1과 Fig. 8 참조), 현장에서 이루어지는 구조물 경사계 계측은 해당 위치에서 구조물의 경사만을 나타내는 값이다. 그래서 측정된 경사계 각변위값은 구조물에 균열이 발생이 될 수 없는 수치인데 실제 균열이 발생하고 있는 경우가 종종 발생되고 있다. 즉 계측된 경사계값이 실제 구조물의 각변위를 대변할 수 없는 것이다.

4.3 계측시스템 개선안

Fig. 10(a)는 현장의 축사(D동)의 내부로 바닥이 콘크리트 슬래브로 되어있고 기둥은 철골 H-beam으로 시공되어 있다. 그리고 기둥과 기둥 사이의 간격은 보통 5 m 내외를 유지하고 있다. 현재 계측시스템이 가지고 있는 문제점을 해결하기 위해서는 다음과 같은 방법이 제안될 수 있다. 도로 성토 현장의 경우 성토고가 높고 재하폭이 넓은 관계로 인근에 영향을 미치는 범위가 넓어 기준점 선정이 매우 어렵다. 이런 경우 대상 건물 기둥 간의 상대적인 레벨을 비교

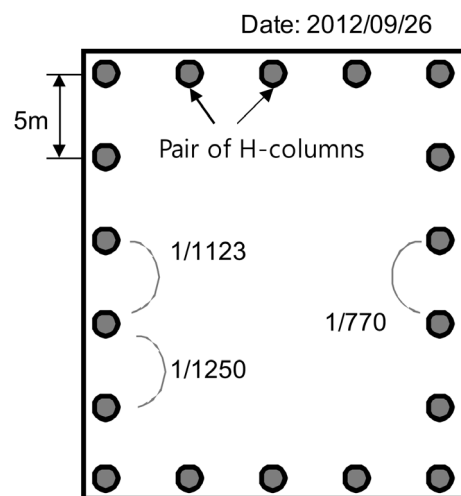
하여 각변위 산정이 가능할 것이다. 측정 방법은 건물 내에 기둥별로 초기에 동일레벨로 표시를 해두고 변위를 추적 조사하여 레벨측량을 실시하는 것이다. 하지만 기둥별로 동일레벨의 변위를 조사하기 위해서는 추적조사기간 내내 접근이 용이하여야 하나 건물의 용도에 따라 물건의 적치 및 기타 사유로 인해 측정이 용이하지 않은 경우가 있어 경우에 따라 조사가 불가하다는 단점이 있다. 그러므로 금번 연구에서는 추적조사기간 내에 접근이 용이한 기둥에 한하여 측정을 실시하고 인접하는 기둥과의 상대변위를 측정하였다. 2012년 6월 14일 최초로 해당 건물 내부의 기둥에 대한 기준점을 설치하고 추적조사를 실시하였다. Fig. 10(b)는 2012년 9월 26일에 측정된 각변위값이다. 측정된 값은 1/770~1/1250으로 실제 균열 허용 각변위 1/500보다 작게 나타났다. 이것은 새로운 시스템이 기준점을 설치하기 이전의 변위는 반영할 수 없어 발생한 것으로 보이며, 실제 각변위값 보다는 작게 측정된 것으로 판단된다. 또한, 연속적인 계측이 이루어지지 않아 실제 각변위가 크게 발생하였을 수도 있지만, 이것이 계측 시점에 반영되지 않았을 가능성도 있다. 본 현장과 같은 연약지반 상의 도로 성토 현장의 경우 지반강도 증진 및 활동과괴 방지 목적으로 성토 및 방치를 지속적으로 반복하게 됨에 따라 지반의 침하와 용기로 인해 계측값이 일정한 경향을 보이지 않고 증가와 감소가 반복되는 특성을 보이고 있으므로 연속적인 자동화 계측이 각변위 측정에 있어 꼭 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

각변위는 부등침하에 따른 구조물의 안정성과 사용성에



(a) Inside appearance of D building



(b) Measurement system and result

Fig. 10. Suggestion method of measurement system and result

미치는 영향이 큰 변수이다. 본 현장처럼 성토가 이루어지고 현장에서 현재 적용되고 있는 각변위 측정 시스템은 구조물의 부등침하와 각변위를 예상하기에는 많은 제한이 존재한다. 부등침하와 각변위 예상을 위해서는 적절한 거리를 두고 충분한 수의 계측기가 설치되어야 하는데 그 수가 많이 부족한 실정이다. 또한, 지반의 침하 값을 이용한 구조물의 부등침하나 각변위 직접적 산정은 불가능하다. 그 이유는 지표침하편의 계측자료는 기초 형태, 기초 강성, 구조물 재료 등의 영향을 전혀 고려할 수 없기 때문이다. 구조물 경사계를 이용한 각변위의 직접적인 산정도 문제를 가지고 있다. 구조물 벽면에 경사계를 설치하여 각변위를 산정하는 방법도 각변위는 기초(또는 기둥)의 임의 두 위치 간 상대적인 침하량을 거리로 나눈 것이라는 기본개념에 위배되므로 정확하게 각변위를 대변할 수는 없다.

도로 성토가 진행되는 현장의 경우 현재 계측시스템이 가지고 있는 문제점을 해결하기 위해서는 기둥 간 상대적인 변위측정이 필요하다. 일반적으로 연약지반에 시공되는 도로 성토 현장의 경우 성토고가 높고 재하폭이 넓은 관계로 인근에 영향을 미치는 범위가 넓어 기준점 선정이 매우 어렵다. 이런 경우 대상 건물 기둥 간의 상대적인 레벨을 비교하여 각변위를 산정할 수 상대적 레벨측량법이 가능할 수 있다. 측정 방법은 건물 내에 기둥별로 초기에 동일레벨로 표시를 해두고 변위를 추적 조사하여 레벨측량을 실시하는 것이다. 새 시스템을 이용한 계측 결과 각변위가 공학적인 판단 기준인 허용 각변위 이내에서는 발생하지 않았지만 시스템의 적용 가능성은 확인할 수 있었다. 또한, 성토로 인한 연약지반 거동 특성상 지반의 변위가 한 방향으로 일정하게 진행되는 것이 아니라 시간에 따라 침하와 융기가 반복되고 이런 지반의 거동이 계측에 반영되어야 하므로 연속적인 자동화 계측이 각변위 측정에 있어 꼭 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 냉정-부산건설사업단의 지원으로 이루어진 결과입니다.

References

1. 한국지반공학회 (2009), 구조물기초설계기준해설, 국토교통부, 597 p.
2. Bjerrum, L. (1963), Allowable settlement of structures, Proc., 3rd European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, Weisbaden, Germany, pp. 135~137.
3. Day, R. W. (1990), Differential movement of slab-on-grade structures, Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 4, No. 4, pp. 236~241.
4. Gray, R. M. (2004), Using slab-on-ground elevation measurements in residential foundation engineering performance evaluations, technical presentation at a meeting of the Houston based foundation performance association, Technical Presentation Paper, Foundation Performance Association, Houston, pp. 1~27.
5. Kim, T. H., Kim, Y. T., You, S. H., Park, T. Y. and Choi, Y. C. (2012), Problem of angular distortion criterion in application to determine the stability and serviceability of structure, Korean Geo-Environmental Society, pp. 161~164 (in Korean).
6. Kim, T. H., Kim, Y. T., You, S. H., Kim, D. I., Kim, K. H. and Choi, Y. C. (2013), Assesment of angular distortion criterion using field measurement data, Korean Geotechnical Society, pp. 770~784 (in Korean).
7. Marsh, E. T. and Thoney, S. A. (1999), Damage and distortion criteria for residual slab-on-grade structures, Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 13, No. 3, pp. 121~127
8. Meyerhof, G. G. (1979), Soil structures interaction and foundation. General Report, Proceedings of 6th Panam. Conf. S.M.F.E. Lima, Vol. 1, pp. 109~140.
9. Polshin, D. E. and Tokar, R. A. (1957), Maximum allowable non-uniform settlement of structures, Proceedings of Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, Vol. 1, pp. 402~406.
10. Skempton, A. W. and Macdonald, D. H. (1955), A survey of comparisons between calculated and observed settlements of structures on clay, Proc. Conf. Correlation of Calculated and Observed Stresses and Deformation in Structures, London, pp. 318~337.
11. Skempton, A. W. and MacDonald, D. H. (1956), The allowable settlement of building, Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Vol. 5, No. 3, pp. 727~768.
12. Sowers, G. F. (1962), Shallow foundation, Chapter 6, McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 525~641.
13. U. S. Army (1990), Engineering and design-settlement analysis, Manual EM 1110-1-1904, Department of the Army, Chapter 2, Limitation Settlement, Washington D. C., pp. 2.1~2.6.