

## 바텀애쉬를 이용한 지하매설관용 유동성뒤채움재의 FEM 해석

이관호<sup>1\*</sup>, 이경중<sup>1</sup>

<sup>1</sup>국립공주대학교 건설환경공학부

### FEM Analysis of Controlled Low Strength Materials for Underground Facility with Bottom Ash

Kwan-Ho Lee<sup>1\*</sup> and Kyung-Jung Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil Engineering, Kongju National University

**요약** 본 연구에서는 유동성뒤채움재와 일반모래뒤채움재를 이용한 지하매설관 시공시 발생하는 관의 변형 및 지표면변위를 유한요소해석을 이용하여 평가하였다. 해석에 사용된 조건은 2개의 관종(연성관인 PE관, 강성관인 콘크리트 환관), 2개의 매설관 직경(30cm 및 60cm), 2개의 매설관 부설깊이(60cm, 150cm), 2개의 굴착폭(1.5D 및 2D), 5종의 뒤채움재(일반모래 및 4종의 유동성뒤채움재) 등을 이용하여, 다양한 조합의 해석을 수행하였다. 연성관인 PE관의 경우 직경 60cm 매설관의 수직변위가 직경 30cm 매설관의 수직변위 보다 평균적으로 3배이상 크게 나타났다. 또한 일반모래 뒤채움시 0.320mm로 나타났고, 이에 비해 유동성뒤채움재를 이용한 Case B, C, D, 및 E에서의 수직변위는 0.135-0.155mm 로 일반모래 뒤채움에 비해 약 40% 수준의 변위가 발생하였다. 강성관인 콘크리트 환관의 경우 직경 30cm인 경우 수직변위는 뒤채움재 종류에 상관없이 0.004mm 정도이다. 직경 60cm 인 경우 일반모래 뒤채움재의 경우 0.636mm, 유동성 뒤채움재의 경우 0.081-0.121mm 범위로 나타났다. 부설깊이에 따른 유동성뒤채움의 효과는 연성관인 PE관에서 더 크게 나타났다. 강성관인 콘크리트환관의 경우 부설깊이에 따른 일반모래뒤채움과 유동성뒤채움재에 따른 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

**Abstract** In this research, finite element method was carried out to evaluate the deformation of pipe and surface displacement for backfill of underground facility. Various conditions for analysis were employer, including two different pipes(PE and concrete pipe), two different excavation depth(60cm and 150cm) and width(1.5D and 2D), a regular sand backfill, and four different flowable backfills. The vertical deformation of 60 cm diameter for PE was measured three times more than that of 30 cm diameter. The measured deformations for regular backfill and four flowable backfills were 0.320mm, and 0.135mm to 0.155mm, respectively. It ratio was around 40%. In case of 30cm diameter of concrete pipe, the measured vertical deformation was around 0.004mm for all the backfill materials. In case of installation depth, the effect of flowable backfill for flexible pipe is better than for rigid pipe. There is little effect on the deformation of concrete pipe with regular sand backfill and flowable backfill.

**Key Words** : Bottom Ash, Flowable Backfill, Surface Displacement, Vertical Deformation

### 1. 서론

지하매설관의 파손은 주로 관자체의 문제 및 관주변에 채워지는 뒤채움재의 부적절한 재료선정과 부실시공에 의해 발생한다. 특히, 원형관로의 경우 관의 하단부 뒤채

움시 다짐이 어려워 설계기준 다짐강도를 맞추기 어렵다. 이러한 조건에서 강우로 인한 빗물침투 및 지하수위의 상승·하강으로 인한 베딩제 및 뒤채움재의 침하가 발생한다. 이러한 침하는 관의 접촉부에 균열 및 파손을 일으키게되고, 관로스시스템 전체의 효율성을 크게 감소시키게

본 논문은 한국연구재단 기초연구사업 일반연구자지원사업(2009.09~2011.08)의 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Kwan-Ho Lee

Tel: +82-10-9932-4798 email: kholee@kongju.ac.kr

접수일 12년 01월 06일

수정일 12년 03월 02일

계재확정일 12년 05월 10일

된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 유동성뒤채움재의 이용은 중요한 대안중의 하나이다[1]. 일반적으로 유동성뒤채움재는 모래, 시멘트, 플라이애쉬 및 물로 구성된다. 본 연구에서는 모래 대신 현장발생토사 및 바토크에쉬[2], 시멘트, 플라이애쉬, 고무분말 및 물 등 주로 재활용 재료를 이용한 유동성뒤채움재를 이용하여 지하매설물 시공시 관에서 발생하는 수직 및 수평변위, 지표면 변위등에 대한 유한요소해석을 실시하였다. 일반적으로 유동성뒤채움재는 시간에 따른 자기강도발현(self-cementation), 자기수평능력(sel-leveling)이라는 특성을 가지고 있어서, 원형매설관로의 뒤채움시 뒤채움재의 품질을 균일하게 해주는 효과가 매우 크다. 또한, 유동성뒤채움재의 시공 초기 흐름특성을 이용하여 시공이 이루어지므로, 관로 주변에 소규모 콤팩터를 이용한 다짐이 불필요하므로, 시공 과정을 단순화해주는 장점을 가지고 있다[3][4].

본 연구에서는 이러한 다양한 장점을 가지고 있는 유동성뒤채움재와 일반모래뒤채움재를 이용한 지하매설관 시공시 발생하는 관의 변형 및 지표면변위를 유한요소해석을 이용하여 평가하였다. 해석에 사용된 조건은 2개의 관중(연성관인 PE관, 강성관인 콘크리트 홈관), 2개의 매설관 직경( 30cm 및 60cm), 2개의 매설관 부설깊이(60cm, 150cm), 2개의 굴착폭(1.5D 및 2D), 5종의 뒤채움재(일반모래 및 4종의 유동성뒤채움재) 등을 이용하여, 다양한 조합의 해석을 수행하였다.

## 2. 지반구조물의 수치해석

지하매설관의 설계는 토압 및 활하중등을 고려한다. 지반 수치해석법은 다양한 형태로 발달하여 왔다. 발달과정은 모델의 정교함과도 비례한다. 초기 컴퓨터의 저장용량과 처리속도의 한계로 단순화된 모델이 사용되었으나 컴퓨터의 기술적 능력이 개선되면서 보다 복잡한 모델에 적용이 가능하게 되었고, 이러한 컴퓨터 환경은 반대로 수학적 모델링에 대한 연구를 확산시켜 해석 및 모델링의 정도를 개선하는데 상호 기여하였다. 오늘날 사용되는 지반 수치해석법은 모델링의 기법 및 정도에 따라 일반적으로 다음과 같이 구분된다.

초기 단순한 Beam-spring 모델이, 연속체 역학을 토대로 한 Full Numerical Model로 발전하였고, 이는 다시 지반 및 암반의 불연속 특성을 모사할 수 있는 불연속 모델로, 그리고 나아가 연속 모델과 불연속 모델의 장점을 추구하는 Hybrid Modeling 법으로 발전해 왔다. 정도의 차이에도 불구하고, 이 모델링 방법들은 대상 지반문제에 따라 적용 타당성과 편의성이 인정되어 대상물체의 환경

에 따라 여전히 이용되고 있다. 예로 흙막리 벽 설계의 탄소성분 해석법은 지반반력계수모델에 해당하고, 터널 굴착시 인접건물 및 주변지반의 유한요소 해석은 Full Numerical Model을 선호한다. 암반의 불연속면 거동은 불연속 모델을 도입하지 않으면 파악하기 어렵다. 모델의 정교함은 보다 많은 입력데이터를 요한다. 수학적 혹은 프로그래밍차원의 진보가 매우 빠르고, 혁신적인데 비해 입력 파라미터의 선정 및 평가부분은 그에 상응하는 만큼의 발전을 이루지 못했다. 하드웨어적인 측면이 있기도 하지만, 지반의 이방성 및 비균질성이 지반 거동을 패턴화하여 파악하는 것을 힘들게 하기 때문이라고 보는 것이 보다 타당하다.

## 3. 유한요소해석용 입력값

### 3.1 실험재료

유한요소 해석에 사용된 물성값들은 실내 실험 중 삼축압축 실험에 의해 얻어진 결과를 이용하여 계산된 값을 사용하였다. 자연퇴적상태의 지반에서 수평방향과 연직방향의 토압비인 정지토압계수는 Jaky의 수정식을 실험적으로 점성토에 적용한 Brooke & Lreland의 식을 사용하였으며, 이렇게 구해진 정지토압계수를 이용하여 지반을 탄성체로 보고 수평방향의 변형이 없는 것으로 하여 수평응력과 연직응력의 비인 포아송비를 계산하였다. 유한요소해석을 위한 지반의 물성대입값은 아래의 표 1과 같다. 매설관은 사용량이 많은 연성관의 PE관과 강성관의 콘크리트홈관 등 2종류를 선택 하였으며, 매설관의 입력 물성값은 표 2와 같다. 하중조건은 소형트럭에 짐을 적재한 상태의 교통하중값인 3300kgf의 값을 사용하였다.

[표 1] 해석용 입력값

[Table 1] Input Parameters for Analysis

	E (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	$\gamma t$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	K <sub>0</sub>	비고
원지반	70,000	0.3	19.0	15	35	0.43	
일반모래	17,600	0.3	15.0	-	30	0.43	
Case B	57,400	0.23	17.67	132.07	43.85	0.31	유동성 뒤채움 재
Case C	47,000	0.24	17.41	108.44	43.59	0.31	
Case D	69,000	0.21	16.37	97.77	47.42	0.26	
Case E	63,800	0.29	16.14	180.70	36.53	0.40	

- B : 현장발생토(52%), 바토크에쉬(13%), 플라이애쉬(10%)
- C : 현장발생토(46%), 바토크에쉬(20%), 플라이애쉬(10%)
- D : 현장발생토(39%), 바토크에쉬(16%), 플라이애쉬(20%)
- E : 현장발생토(44%), 바토크에쉬(19%), 플라이애쉬(10%), 고무분말(3%)

[표 2] 매설관의 해석용 입력값

[Table 2] Input Parameters of Pipe for Analysis

구분	E (kN/m <sup>2</sup> )	ν	γ t (kN/m <sup>3</sup> )	관 크기	
				직경 (D)	두께 (H)
PE관	540,000	0.35	9.32	30cm	3cm
				60cm	5cm
콘크리트 흙관	27,000,000	0.12	25.99	30cm	2.2cm
				60cm	4.4cm

### 3.2 해석사례

현장의 다양한 조건을 반영하기 위하여 해석에 필요한 요소를 표 3과 같은 조건을 해석에 반영하였다. 베딩제는 일반모래를 적용하였다.

[표 3] 해석조건별 구분

[Table 3] Factorial Design for Analysis

항목	분류 기호	구분
관직경	S	30cm
	L	60cm
부설깊이	L	50cm
	D	165cm
굴착폭	N	1.5D
	W	2D
뒤채움재	A	일반 모래
	B	Case B
	C	Case C
	D	Case D
	E	Case E
관종	1	PE 관
	2	콘크리트 흙관

### 3.3 해석단계별 모델링

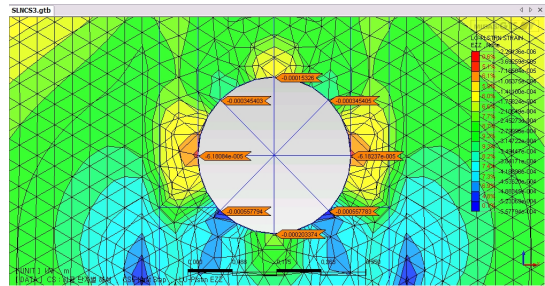
유동성 뒤채움재 유한요소해석을 위해 각 조건별 물성값을 입력한 후 도면을 각 시공 사례별로 설계한 한다. 각 조건에 부합하게 메쉬를 형성하며 각 메쉬에 조건에 맞는 기준에 입력되어 있는 물성값을 대입한다. 메쉬를 형성한 후 경계조건을 부여하여준다. 마지막으로 자중과 하중을 부여하여 유한요소 해석에 대한 요소화 과정을 진행한다.

유한요소해석의 여러 해석 방법 중 시공단계별 해석을 위해 실제 시공과 같은 시공순서에 따라 해석조건을 부여하였다. 자중과 경계조건이 존재하는 원지반 상태에서 터파기를 시행한 후 베딩제를 설치하고, 매설관은 매입한 후 뒤채움재를 타설하는 순서로 시공단계를 설정하였으며, 교통하중에 해당하는 하중을 가한다.

## 4. 해석결과 및 분석

### 4.1 관 직경에 따른 매설관의 수직/수평변위

유한요소해석결과는 그림 1과 같은 그림으로 확인이 가능하면, 좀더 상세한 수치결과는 표로 제시하였다. 표 4는 매설관 직경 30cm와 60cm에 따른 매설관의 수직변위를 비교한 결과값이다. 연성관인 PE관의 경우 직경 60cm 매설관의 수직변위가 직경 30cm 매설관의 수직변위 보다 평균적으로 3배이상 크게 나타났다. 또한 일반모래 뒤채움시 0.320mm로 나타났고, 이에 비해 유동성뒤채움재를 이용한 Case B, C, D, 및 E에서의 수직변위는 0.135-0.155mm 로 일반모래 뒤채움에 비해 약 40% 수준의 변위가 발생하였다. 강성관인 콘크리트 흙관의 경우 직경 30cm인 경우 수직변위는 뒤채움재 종류에 상관없이 0.004mm 정도이다. 직경 60cm 인 경우 일반모래 뒤채움재의 경우 0.636mm, 유동성 뒤채움재의 경우 0.081-0.121mm 범위로 나타났다.



[그림 1] 유한요소해석결과  
[Fig. 1] FEM Analysis Result

[표 4] 관직경에 따른 관의 수직변위(mm)

[Table 4] Vertical Deformation(mm) by Pipe Diameter(mm)

뒤채움재 \ 관종 직경	PE관		콘크리트흙관	
	30cm	60cm	30cm	60cm
일반모래	0.320	1.097	0.003	0.636
Case B	0.146	0.395	0.005	0.121
Case C	0.155	0.453	0.004	0.081
Case D	0.135	0.340	0.005	0.084
Case E	0.138	0.339	0.005	0.082

표 5는 매설관 직경 30cm와 60cm에 따른 매설관의 수평변위를 비교한 결과값이다. 수직변위와 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 유동성 뒤채움재의 활용시 매설관의 수직 및 수평변위를 저감시키는데 큰 효과가 있는 것으

로 나타났다.

**[표 5]** 관직경에 따른 관의 수평변위(mm)  
**[Table 5]** Lateral Deformation(mm) by Pipe Diameter

관종 직경 뒤채움재	PE관		콘크리트흙관	
	30cm	60cm	30cm	60cm
일반모래	0.266	0.671	0.022	0.079
Case B	0.120	0.403	0.022	0.075
Case C	0.126	0.421	0.022	0.041
Case D	0.110	0.383	0.022	0.071
Case E	0.114	0.388	0.022	0.072

#### 4.2 부설깊이에 따른 매설관 내부 변위

표 6은 부설깊이 60cm와 150cm에 따른 매설관의 수직변위를 비교한 결과값이다. 연성관인 PE관의 경우 부설깊이 60cm 매설관의 수직변위가 150cm인 매설관의 수직변위 보다 평균적으로 1.4배이상 크게 나타났다. 또한 일반모래 뒤채움시 부설깊이가 낮을수록 관의 측면에서 작용하는 수평토압으로 인한 관의 지지효과가 작고, 이로 인해 교통하중에 의한 변형이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 유동성뒤채움재를 이용한 Case B, C, D, 및 E에서의 수직변위는 일반모래 뒤채움에 비해 약 40% 수준의 변위가 발생하였다.

부설깊이에 따른 유동성뒤채움의 효과는 연성관인 PE관에서 더 크게 나타났다. 일반모래 뒤채움시 부설깊이에 따른 관의 수직변위는 0.320mm 및 0.192mm로 나타났다. 이에 반해 유동성 뒤채움재 사용시 부설깊이에 따른 관의 수직변위는 평균 0.150mm 및 0.092mm로 나타났다. 강성관인 콘크리트흙관의 경우 부설깊이에 따른 일반모래뒤채움과 유동성뒤채움재에 따른 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

**[표 6]** 부설깊이에 따른 관의 수직변위(mm)  
**[Table 6]** Vertical Deformation(mm) by Installation Depth

관종 깊이 뒤채움재	PE관		콘크리트흙관	
	50cm	165cm	50cm	165cm
일반모래	0.320	0.192	0.003	0.010
Case B	0.146	0.094	0.005	0.012
Case C	0.155	0.095	0.004	0.013
Case D	0.135	0.088	0.005	0.012
Case E	0.138	0.088	0.005	0.012

표 7은 매설관 부설깊이에 따른 매설관의 수평변위를 비교한 결과값이다. 수직변위와 거의 유사한 경향을 나타

내고 있다.

**[표 7]** 부설깊이에 따른 관의 수평변위(mm)  
**[Table 7]** Lateral Deformation(mm) by Installation Depth

관종 깊이 뒤채움재	PE관		콘크리트흙관	
	50cm	165cm	50cm	165cm
일반모래	0.266	0.172	0.022	0.015
Case B	0.120	0.008	0.022	0.014
Case C	0.126	0.082	0.022	0.014
Case D	0.110	0.074	0.002	0.014
Case E	0.114	0.076	0.022	0.014

#### 4.3 굴착 폭에 따른 매설관 내부 변위

표 8은 굴착폭이 매설관의 1.5D 및 2D 조건일 때 관의 변형을 비교하였다. 사용하는 뒤채움재의 종류는 굴착폭에 크기에 따른 관의 변형에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 관의 종류, 연성관과 강성관,에 따른 효과는 다르게 나타났다. 연성관의 경우 유동성뒤채움재 시공시 굴착폭에 따른 매설관의 수직 및 수평변위를 50%수준으로 저감시킬 수 있음을 보여준다.

**[표 8]** 굴착폭에 따른 관의 수직변위(mm)  
**[Table 8]** Vertical Deformation(mm) by Excavation Width

관종 굴착폭 뒤채움재	PE관		콘크리트흙관	
	1.5D	2D	1.5D	2D
일반모래	0.320	0.370	0.003	0.006
Case B	0.146	0.170	0.005	0.007
Case C	0.155	0.183	0.004	0.006
Case D	0.135	0.153	0.005	0.008
Case E	0.138	0.156	0.005	0.007

#### 4.4 뒤채움재종류에 따른 지표면 변위

뒤채움재 종류에 따른 지표면 변위를 해석하여 결과를 표 9 및 표 10에 나타내었다. 관중에 따른 지표면 변위는 연성관이 PE관에서 강성관인 콘크리트흙관에 비해 10% 정도 크게 나타났다.

동일한 관중에서 발생하는 지표면 변위는 관직경, 굴착깊이 및 굴착폭이 커질수록 지표면 변위가 크게 나타났다. 뒤채움재 종류에 따른 지표면변위는 일반모래뒤채움 경우가 4종의 유동성뒤채움재 시공시 발생하는 지표면 변위의 약 2배 정도 크게 발생하는 것으로 나타났다. 4종의 유동성뒤채움재의 경우 Case E(현장발생토, 바탕에쉬, 플라이에쉬, 고무분말, 시멘트.) 조건에서 지표면 변위가 가장 작게 나타났다. 유동성 뒤채움재의 종류에

따른 지표면 변위의 차이는 크지 않았지만, 일반 모래뒤 채움재 시공과 비교하면 유동성 뒤채움재 시공으로 인한 지표면 변위 저감효과가 상당히 큰 것으로 나타났다. 이는 유동성 뒤채움재의 자기강도발현 및 자기수평능력이 지하매설관 주변의 뒤채움재 시공품질을 향상 시키는 것으로 이해할 수 있다.

[표 9] PE관의 매설시 지표면 변위(mm)

[Table 9] Surface Deformation(mm) on PE

관 직경	굴착폭	뒤채움 깊이	일반 모래	Case B	Case C	Case D	Case E
30 cm	1.5D	60cm	0.906	0.417	0.456	0.380	0.378
		150cm	1.023	0.464	0.510	0.419	0.417
	2.0D	60cm	1.104	0.547	0.589	0.497	0.492
		150cm	1.323	0.620	0.672	0.558	0.553
60 cm	1.5D	60cm	1.172	0.762	0.787	0.720	0.724
		150cm	1.568	0.777	0.844	0.696	0.693
	2.0D	60cm	1.985	0.905	0.975	0.808	0.802
		150cm	2.310	1.084	1.172	0.960	0.953

[표 10] 흙관의 매설시 지표면 변위(mm)

[Table 10] Surface Deformation(mm) on Concrete Pipe

관 직경	굴착폭	뒤채움 깊이	일반 모래	Case B	Case C	Case D	Case E
30 cm	1.5D	60cm	0.826	0.389	0.426	0.354	0.351
		150cm	0.928	0.429	0.471	0.388	0.385
	2.0D	60cm	1.097	0.542	0.584	0.492	0.487
		150cm	1.308	0.613	0.665	0.551	0.546
60 cm	1.5D	60cm	0.546	0.476	0.305	0.455	0.454
		150cm	1.283	0.660	0.712	0.595	0.590
	2.0D	60cm	1.885	0.871	0.942	0.778	0.771
		150cm	2.161	1.038	1.124	0.920	0.912

#### 4.5 매설관 종류에 따른 매설관 내부 변위

해석에 사용된 매설관의 종류는 연성관 중 PE관과 강성관 중 콘크리트흙관을 사용하였고, 매설관의 수직변위 및 수평변위 해석값을 표 11 및 표 12에 나타내었다. 강성관인 콘크리트흙관의 경우 일반뒤채움과 유동성뒤채움재의 사용으로 인한 수직 및 수평방향 변위 발생에 거의 차이가 없었다. 이는 콘크리트 흙관의 자체강성이 사용된 뒤채움재에 비해 훨씬 커서 뒤채움재의 특성이 관의 변형에 거의 영향을 주지 못하는 것으로 판단된다.

연성관인 PE관의 경우 굴착폭이 작고, 굴착깊이가 커질수록 PE관의 수직 및 수평변위가 작아지는 경향을 보여주고 있다. 일반모래를 이용한 뒤채움에 비해 유동성뒤채움재를 이용한 경우 수직 및 수평 변위가 대략 50-60% 정도 작게 발생하였다. 이는 유동성 뒤채움재의 경우 연

성관에 사용할 경우 그 효과가 크다는 것을 의미한다.

[표 11] 매설관종류 따른 관의 수직변위(mm)

[Table 11] Vertical Deformation(mm) by Type of Pipe

관 종류	굴착폭	뒤채움 깊이	일반 모래	Case B	Case C	Case D	Case E
PE관	1.5D	60cm	0.320	0.146	0.155	0.135	0.138
		150cm	0.192	0.094	0.095	0.088	0.088
	2.0D	60cm	0.370	0.170	0.183	0.153	0.156
		150cm	0.253	0.117	0.120	0.108	0.108
흙관	1.5D	60cm	0.003	0.005	0.004	0.005	0.004
		150cm	0.010	0.012	0.013	0.012	0.012
	2.0D	60cm	0.006	0.007	0.006	0.008	0.007
		150cm	0.011	0.013	0.014	0.015	0.014

[표 12] 매설관종류 따른 관의 수평변위(mm)

[Table 12] Lateral Deformation(mm) by Type of Pipe

관 종류	굴착폭	뒤채움 깊이	일반 모래	Case B	Case C	Case D	Case E
PE관	1.5D	60cm	0.266	0.120	0.126	0.110	0.114
		150cm	0.172	0.080	0.082	0.074	0.076
	2.0D	60cm	0.306	0.140	0.152	0.128	0.132
		150cm	0.216	0.100	0.104	0.092	0.092
흙관	1.5D	60cm	0.022	0.022	0.022	0.020	0.022
		150cm	0.015	0.014	0.014	0.014	0.014
	2.0D	60cm	0.024	0.024	0.026	0.024	0.024
		150cm	0.020	0.018	0.016	0.016	0.016

## 5. 결론

바탕애쉬 및 현장발생토사를 이용한 지하매설관용 뒤채움재에 시공에 대한 유한요소해석(FEM)을 수행하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 매설관 직경 30cm와 60cm에 따른 매설관의 수직변위를 비교한 결과, 연성관인 PE관의 경우 직경 60cm 매설관의 수직변위가 직경 30cm 매설관의 수직변위보다 평균적으로 3배이상 크게 나타났다. 또한 일반 모래 뒤채움시 0.320mm로 나타났고, 이에 비해 유동성뒤채움재를 이용한 Case B, C, D, 및 E에서의 수직변위는 0.135-0.155mm로 일반모래 뒤채움에 비해 약 40% 수준의 변위가 발생하였다. 강성관인 콘크리트 흙관의 경우 직경 30cm인 경우 수직변위는 뒤채움재 종류에 상관없이 0.004mm 정도이다. 직경

60cm 인 경우 일반모래 뒤채움재의 경우 0.636mm, 유동성 뒤채움재의 경우 0.081-0.121mm 범위로 나타났다.

- 부설깊이에 따른 유동성뒤채움의 효과는 연성관인 PE관에서 더 크게 나타났다. 일반모래 뒤채움시 부설깊이에 따른 관의 수직변위는 0.320mm 및 0.192mm로 나타났다. 이에 반해 유동성 뒤채움재 사용시 부설깊이에 따른 관의 수직변위는 평균 0.150mm 및 0.092mm로 나타났다. 강성관인 콘크리트관의 경우 부설깊이에 따른 일반모래뒤채움과 유동성뒤채움재에 따른 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.
- 사용하는 뒤채움재의 종류는 굴착폭에 크기에 따른 관의 변형에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 관의 종류, 연성관과 강성관에 따른 효과는 다르게 나타났다. 연성관의 경우 유동성뒤채움재 시공시 굴착폭에 따른 매설관의 수직 및 수평변위를 50%수준으로 저감시킬 수 있음을 보여준다.

## References

- [1] Nader Ghafoori, Yuzheng Cai, "Laboratory-Made Roller Compacted Concretes Containing Dry Bottom Ash", ACI Material Journal, 1998, pp.224-251.
- [2] Korea Midland Power Co. LTD (2008), "Product Technology of Aggregate of Pavement with Bottom Ash, Final Report of KOMIPO, pp. 249.
- [3] Lee, K. & Kim, S. (2011), "Backfill Materials for Underground Facility with Recycling Materials - Quantification of Design Parameters", Vol. 11, No. 3, Korean Society of Hazard Mitigation, pp. 91-96
- [4] ASTM (2004), "Innovations in Controlled Low-Strength Materials(Flowable Fill), ASTM STP 1459, pp. 159.

### 이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : 미국 Purdue Univ. Civil Eng., (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>  
도로공학 및 지반공학

### 이 경 중(Kyung-Jung Lee)

[준회원]



- 2010년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부(공학석사)

<관심분야>  
도로공학 및 지반공학