

무진동 PBD(플라스틱 보드 드레인) 시공장비 구조 최적 설계

오성훈^{1*}

Structural Optimization of Vibration-free PBD(Plastic Board Drain) Construction Equipments

Sung-Hoon Oh^{1*}

요약 플라스틱보드드레인은 연약지반 개선공법의 하나로 경제적이고, 시공이 편리하며, 품질관리가 쉬워서 널리 사용되어 왔다. PBD를 지면에 수직하게 40m 깊이로 타설하는 PBD장비는 인출하중에 대해 안정적이면서 설치와 이동의 편의성을 위해 경량화 되어야한다.

본 연구에서는 구조해석을 통해 이전 장비와 철골구조에 대한 응력분포로 안전성을 평가하였다. 그리고 중량을 줄이면서 강도를 증가시킬 수 있는 철골구조를 제안하였다. 본 연구의 결과로 이전의 장비에 비해 중량이 700kg 가벼운 안전한 구조를 얻었다.

Abstract Plastic board drain is one of the methods to reinforce weak soil, and it has been widely used because of economical efficiency, convenience of construction, and ease of quality control. The weight of PBD equipment which places PBD perpendicularly underground in the depth of 40m has to be minimized to obtain convenience installation and movement while standing against press drawing load.

In this study, the performance of stability was evaluated with stress distribution at the steel construction of former equipment by structural analysis. And the steel construction which can increase strength while reducing the weight was also presented. As a result of this study, presented construction can obtain more stability by use of the weight 700kg lighter than the former one.

Key Words : PBD, FEM analysis, Optimization, Construction Equipments

1. 서론

일반적으로 플라스틱 보드 드레인(Plastic Board Drain: P.B.D)공법은 연약지반을 강화하기 위해서 내부가 빈 파이프형태의 드레인 케이싱에 투수성(透水性)을 갖는 플라스틱 보드를 내삽시키고, 상기 드레인 케이싱을 지중으로 관입한 다음 플라스틱 보드만 남기고 드레인 케이싱을 인발함으로써 지중에 플라스틱 보드를 매설(埋設)하기 위한 공법으로, 플라스틱 보드의 표면을 따라 지중의 간극수(間隙水)가 지상으로 서서히 배출되면서 연약지반이 강화되어진다.

연직배수(Vertical drain)공법에 의한 연약지반 개량에 있어서 종래에 많이 이용되어 온 샌드 드레인공법의 대용으로 경제성, 시공성 및 품질관리 측면에서 유리한

PBD공법은 1937년에 Kjellman에 의해 최초로 소개된 이후 그 이용이 증가되고 있다. 국내에 PBD공법을 이용한 연약지반공법이 최초로 적용된 것은 1975년 창원의 적현단지이고(김 수삼, 1994), 그 후에 대불공단, 서천-군산간 고속도로(김 성환 등, 1996)를 비롯한 서남해안의 연약지반 개량공법으로 많이 이용되고 있다. 최근에는 시공기계의 발달과 함께 해상시공도 이루어지고 있으며, 타설심도도 점차적으로 증가하여 약 40m깊이까지 타설하여 성공적으로 지반개량을 수행한 예도 있다(Hansbo, 1992).

이러한 PBD공법은 PBD재를 수직으로 20~40m 깊이로 타설해야 하므로 장비는 이와 같은 높이를 가져야 한다. 또한 PBD의 압입하중 및 인발하중과 거센바람 등에 견딜 수 있는 안정성을 가져야 한다. PBD 타설작업은 같은 작업을 여러번 반복해야하므로 설치와 이동이 간편해야 하므로 중량을 고려한 강도를 설계시 고려하여야 한다.

¹익산대학 컴퓨터응용기계과

*교신저자: 오성훈(oshun0305@hanmail.net)

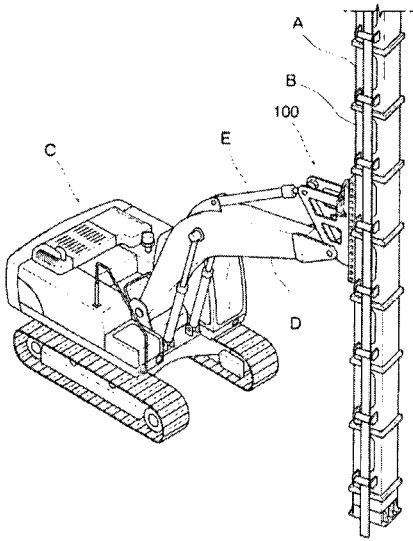


그림 1. PBD 장비구조

본 논문에서는 가로 세로 1m, 길이 35m, 압입하중 40ton인 무진동 PBD시공장비의 설계 안전성 평가와 중량을 최소화하면서 안정성을 보장 할 수 있는 철골 구조 설계 데이터 제시를 위하여 유한요소 해석 프로그램을 통하여 압입하중 40ton에 대한 구조물의 응력분포를 평가하고, 응력취약부의 보강과 철골 구조물의 중량을 최소화할 수 있는 구조와 재질에 대한 유한요소 재해석 및 안정성 평가한다.

2. 설계조건

PBD을 연약지반에 압입 및 인출시 발생하는 최대 하

중은 40ton이다.

PBD의 타설깊이는 35m이며 이를 위해 PBD 케이싱을 수직으로 지지하기 위한 구조물 높이 역시 35m이다. 지지부의 가로 세로 폭은 1m×1m로 제한한다.

높이 35m중 하단 10m는 유압장치들이 설치되고 충분한 강도를 가질 수 있도록 설계된다. 따라서 상단 25m의 지지부만 최적설계를 검토한다.

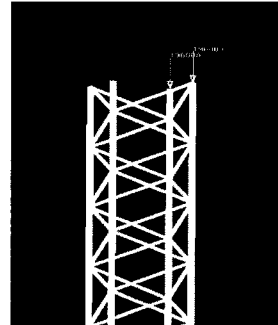


그림 2. 상단부의 하중조건

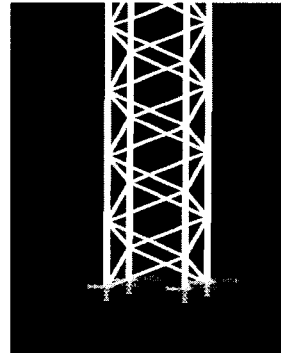


그림 3. 하단부의 하중조건

표 1. SS400의 기계적 성질

Density	7.85 g/cc
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa, 58000 - 79800 psi
Tensile Strength, Yield	250 MPa, 36300 psi
Elongation at Break 20 % in 200 mm	
Elongation at Break 23 % in 50 mm.	
Modulus of Elasticity	200 GPa 29000 ksi
Compressive Yield Strength	152 MPa 22000 psi Allowable compressive strength
Bulk Modulus	140 GPa 20300 ksi Typical for steel
Poisson's Ratio	0.26
Shear Modulus	79.3 GPa

하중은 하단의 유압모터와 케이싱에 연결된 로프를 지지하는 최상부의 풀리에 작용한다. 풀리의 축은 25m 구조물의 4개 기둥 중 케이싱 통로가 설치된 면의 2개 기둥에 의해 지지된다. 따라서 그림 2와 같이 한 개의 기둥에 20ton씩이 기둥의 축방향으로 작용한다. 그림 3과 같이 4개 기둥의 하부 끝단 자유도를 구속한다.

자중을 고려하며 바람의 영향이 없을 때와 최대 풍속 60m/s일 때의 두가지 경우를 고려한다.

기둥과 연결부재로 쓰이는 형강 재질은 SS400이며, 기계적 성질은 표 1과 같다.

3. 해석 결과

3.1 1차 해석

기존 개발품인 10ton용 PBD 타설장비의 철골구조에 사용된 기둥과 연결부재의 형상과 연결방식은 표 2, 그림 4와 같다.

표 2. 철골구조에 사용된 기둥과 연결부재의 형상과 연결방식

columns	pipe(outer dia : 73mm, thickness : 7mm)
linking parts	pipe(outer dia : 48.6mm, thickness : 3.2mm)
linking degree	30°

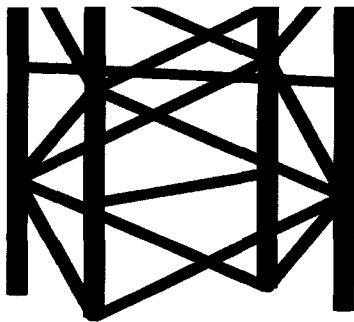


그림 4. 해석을 위한 철골구조

새로 개발되는 40ton용 PBD 타설장비의 1차 해석을 위한 철골구조도 10ton용과 같은 기둥과 연결부재 형상을 이용하고 연결각도도 30°로 하였다. 기둥사이 간격만 설계조건에 따라 1m로 하였다.

구조해석 프로그램상에서 하중 및 구속 조건들은 앞장의 설계조건에 따라 그림 5와 같이 설정하였다. 해석결과는 표 3, 그림 6,7,8과 같다.

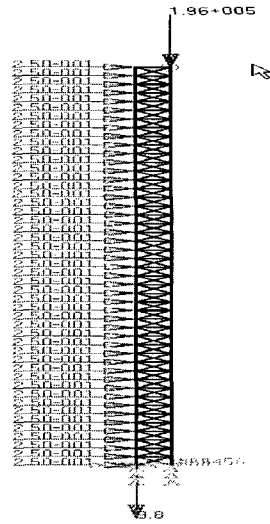


그림 5. 설정 하중과 조건

표 3. 해석결과

Wind speed(m/s)	0	60
Max stress(MPa)	-156	-220
Max displacement(mm)	221	314
Total weight(ton)	2.06	

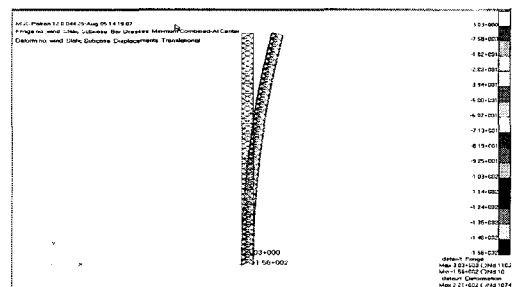


그림 6. 바람영향 없을 때 해석결과 응력분포

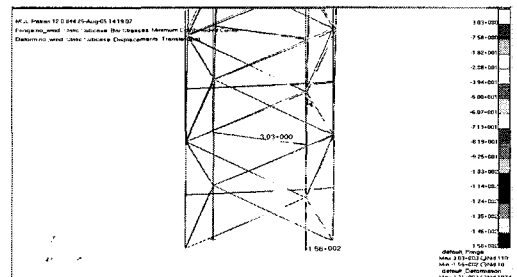


그림 7. 바람영향 없을 때 하단부의 해석결과 응력분포

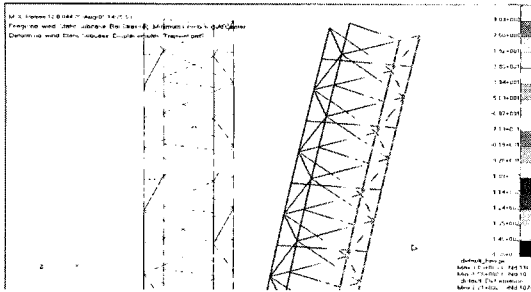


그림 8. 바람영향 없을 때 상단부의 해석결과와 응력분포

1차 해석 결과 바람의 영향이 없을 경우 최대응력이 156MPa로 하중을 받는 기둥 아래쪽 끝에 압축응력으로 발생한다. 전체적으로는 하중을 받는 기둥 쪽에 압축응력이 높게 분포하고 변형 또한 그쪽으로 기울어지는 형태로 발생한다.

60m/s의 바람이 기둥이 기울어지는 쪽으로 불 경우 최대응력은 220MPa의 압축응력이 바람이 없을 때와 같은 응력 분포형태로 발생한다.

형강 재질의 파괴강도는 400~550MPa이므로 안전을 2정도의 값으로 안정하다.

3.2 대각선 기둥 연결부재 유무에 따른 응력의 영향

그림 4와 같이 대각선으로 연결하는 수평부재가 있을 때와 그림 9와 같이 없을 경우의 응력에 미치는 영향을 보기 위하여 비교해석을 실시하였다. 해석 결과는 표 4와 같다.

해석결과를 보면 최대응력과 최대변위는 대각선 연결부재가 있을 때와 없을 때가 거의 똑 같다. 따라서 대각선 연결부재는 강도 강화에 불필요한 부재이다. 대각선 연결부재가 없을 경우 전체 중량은 220kg정도 감소하는

표 4. 대각선 연결부재 있을 때와 없을 때 해석결과

wind speed(m/s)	when diagonal linking part is		when diagonal linking part is not	
	0	60	0	60
Max Stress(MPa)	-156	-220	-156	-219
Max displacement(mm)	221	314	221	314
Total weight(ton)	2.06		1.84	

표 5. 연결부재의 연결각도에 대한 해석결과

wind speed(m/s)	30°		45°	
	0	60	0	60
Max Stress(MPa)	-156	-219	-157	-224
Max displacement(mm)	221	314	228	329
Total weight(ton)	1.84		1.65	

효과를 얻을 수 있다.

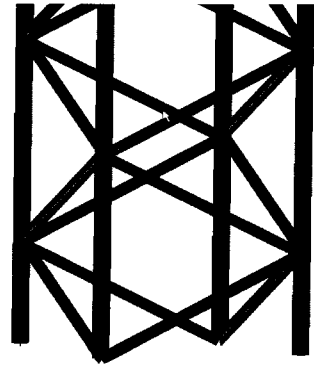


그림 9. 수평부재 제거된 철골구조

3.3 연결 각도에 따른 응력의 영향

4개 기둥이 이루는 4개의 측면에서 기둥사이를 연결하는 부재의 연결 각도에 대한 영향을 보기 위하여 30°일 경우와 45°일 경우를 비교 해석하였다. 표 5는 비교해석 결과이다.

해석결과 최대응력과 최대변위에서 연결각도 30°보다 45°가 약간 더 큰 값을 나타내고 있으나 파괴강도 400~450MPa에 대해서 최대응력의 차이는 미미하다.

전체중량에서는 30°일 때보다 45°일 때 190kg가량 감소할 수 있다.

3.4 연결부재의 단면적에 따른 응력의 영향

4개 기둥이 이루는 4개의 측면에서 기둥 사이를 연결하는 부재의 단면적에 따른 응력의 영향을 보기 위하여 $\phi 48.6$ 3.2t 원형관일 때와 $\phi 24$ 3t 원형관일 때를 비교 해석하였다. 표 6은 비교해석 결과이다.

표 6. 연결부재의 단면적에 따른 해석결과

cross section	φ 48.6 3.2t pipe		φ 24 3t pipe	
wind speed(m/s)	0	60	0	60
Max Stress(MPa)	-157	-224	-156	-224
Max displacement(mm)	228	329	228	332
Total weight(ton)	1.65		1.36	

표 7. 연결부재의 기둥형상에 대한 해석결과

columns shape	φ 73 7t / φ 73 7t		φ 73 8t / φ 73 6t		φ 73 9t / φ 73 5t	
wind speed(m/s)	0	60	0	60	0	60
Max Stress(MPa)	-156	-224	-138	-200	-125	-181
Max displacement(mm)	228	332	203	308	183	294
Total weight(ton)	1.36		1.36		1.35	

해석결과 최대응력에서 두 원형관 사이에 값의 차이가 없다. 최대 변위에서 풍속 60m/s일때에 φ24 3t 원형관이 조금 더 큰 변형값을 보여 준다. 지름을 반으로 줄인 φ24 3t 원형관을 쓸 경우 구조적으로 안정하며 φ48.6 3.2t 원형관 보다 전체중량을 190kg 줄일 수 있다.

3.5 강도 취약부 보강

위와 같은 비교해석 결과로 최대응력은 거의 비슷한 값을 가지면서 전체중량을 2.06ton에서 1.36ton까지 줄일 수 있었다.

하지만 하중이 가해지는 두개의 기둥 쪽에 응력이 편중되는 것을 볼 수 있다. 이러한 취약점을 보강하기 위하여 하중을 받는 쪽 기둥의 두께를 늘리고 반대쪽 기둥의 두께를 줄여서 재해석을 실시하였다. 하중을 받는 쪽의 기둥 두께가 8t 반대쪽이 6t일 때와 하중을 받는 쪽의 기둥 두께가 9t, 반대쪽이 5t일 때의 비교해석결과는 표 7 및 그림 10, 11과 같다.

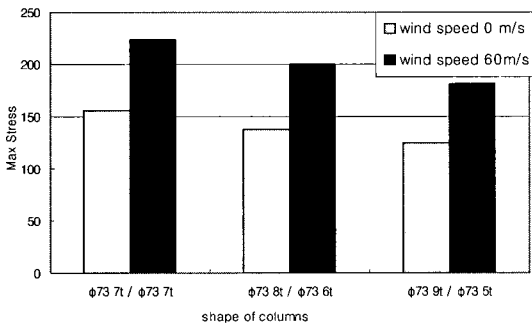


그림 10. 기둥두께 변화에 대한 해석결과

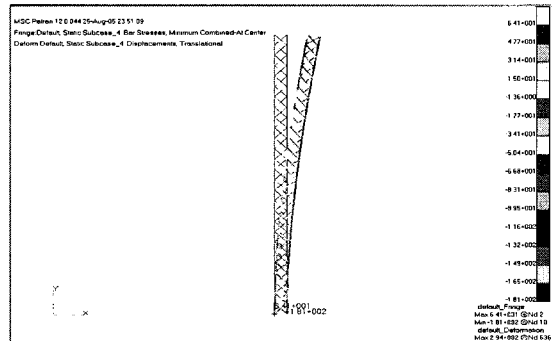


그림 11. 8t과 6t 기둥 사용시 응력분포

해석결과 하중을 받는 쪽의 단면적을 늘리고 반대쪽은 줄이면 전체중량에는 변화가 없지만 강도 취약부의 강도를 효과적으로 보강할 수 있었다.

추가적으로 응력이 가장 크게 발생하는 쪽은 모든 경우에 하중을 받는 기둥의 하부 끝단이다. 따라서 이 부분을 보강하기 위한 방법으로 기둥 끝단 둘레에 필릿형상을 덧붙여 보강한다

4. 결론

본 연구에서는 35m 40ton용 PBD 타설장비의 철골구조물의 최적설계를 위한 구조해석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 4개의 기둥사이를 대각선 수평방향으로 연결하는 부재는 강도 보강 역할이 미미하고 감량을 위해 불필요한 부재이다.

2. 4개 측면에서 기둥 사이를 연결하는 부재의 연결각도 30°와 45°는 응력분포에 차이가 없으므로 감량을 위하여 45°로 해야한다.
3. 4개 측면에서 기둥 사이를 연결하는 부재의 단면지름을 48.2mm에서 24mm로 줄여도 응력분포의 차이는 미미하다. 따라서 감량을 위해 24mm로 해야 한다.
4. 강도보강을 위하여 하중을 받는 쪽 기둥의 두께를 늘리고 반대쪽 기둥의 두께를 줄여야 한다.
5. 연결부재의 단면은 $\phi 24$ 3t, 연결각도는 45°, 하중을 받는 쪽 2개의 기둥 단면은 $\phi 73$ 9t, 반대쪽 2개의 기둥 단면은 $\phi 73$ 5t일 경우 하중 40ton, 풍속 60m/s에서 최대압축응력은 181MPa이 발생하며, 최대 변형은 294mm로 2.5정도의 안전율 하에서 구조적으로 안정하다.

5. 참고 문헌

- (1) 박 영목, 1997, "국내 PBD재의 배수성능과 진공효과에 의한 통수능력 향상에 관한 연구", 한국지반공학회, 13권, 2호, pp. 39~53.
- (2) 김 해수, 윤 성기, 2001, "ANSYS를 이용한 철골기둥의 저항능력에 관한 연구", 부산대학교 생산기술연구소, 제 60집, pp. 35~40.
- (3) 김 성환, 노 한성, 1996, "연약지반 처리를 위한 플라스틱 배수공법", 96 봄 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 265~273.
- (4) 김 수삼, 1994, "적현단지에 한국 최초로 적용된 paper drain 공법", 한국지반공학 발자취, 한국지반공학회, pp. 221~228.
- (5) Hansbo, S. 1992, "Preconsolidation of soft compressible subsoils by the use of prefabricated vertical drains", Workshop on Applied Ground Improvement Technique, Southeast Asian Geotechnical Society.

오 성 훈(Oh Sung Hoon)

[정회원]



- 1991년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 1998년 8월 : 전북대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 익산대학교 컴퓨터응용기계과 조교수

<관심분야>
공작기계, 절삭가공