

# LCC를 고려한 BOX구조물 뒷채움 재료의 경제성 분석에 관한 연구

## A Study on the Economic Analysis of Box Mechanical Behavior Materials Using LCC Techniques

이 상 희\*      김 수 용\*\*      박 영 민\*\*\*  
Lee, Sang-Hee      Kim, Soo-Yong      Park, Young-Min

### 요 약

경량기포혼합토는 경량성으로 인해 구조물등에 작용하는 하중이 저감되어 연약지반의 뒷채움 재료로 사용되지만, 일반토사에 비하여 초기시공비용이 많이 소요되어 아직 국내에서는 적용하고 있지 않다. 주로 뒷채움 재료는 초기시공비가 적게 소요되는 일반토사를 사용하고 있으나, 일반토사의 덧씌우기 공법은 횡수가 증가함에 따라 사용연수가 감소된다. 특히 연약지반에 설치된 BOX구조물이나 교대 뒷채움 인근의 단차 발생 시 덧씌우기 공법은 일시적인 대체공법은 가능하지만, 덧씌우기 두께에 대한 하중만큼 추가 하중이 발생하게 되므로 결국 단차에 대한 해결책은 되지 못한다. 따라서 본 연구에서는 BOX구조물 뒷채움 재료인 일반토사와 경량기포혼합토의 두 가지 대안에 대하여 LCC 분석을 실시하며, 경제적 측면에서 보다 합리적인 의사결정을 할 수 있는 경제성 분석을 제시하고자 하였다. 그 결과 경량기포혼합토가 일반토사에 비해 초기시공비용은 많이 소요되지만 유지관리 측면에서는 비용이 더 적게 소요되어, 6년 이내에 경제성을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

키워드: 경량기포혼합토, 덧씌우기 공법, LCC, 경제성 분석

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

국내 도로의 유지관리 및 보수를 위한 구조물 평가방법, 유지관리 및 보수 시기, 각 현황에 맞는 공법 선정 등은 도로설계기준(국토해양부) 등에 반영이 되어 있으나, 실질적으로 이에 대한 활용 및 연구는 아직 부족한 실정이다.

국내 연약지반의 도로 설계 시 잔류침하량 10cm, 압밀도 90%내외로 설계하고 있으며, 이는 허용잔류침하량, 2차 압밀침하량 및 덧씌우기 시 발생하는 추가적인 침하량을 고려하면 공용 후 발생하는 단차는 10cm 이상이 될 수 밖에 없다.

국내 도로의 유지보수 현황은 보통 5~10년 주기로 덧씌우기를 실행하고 있지만, 덧씌우기 공법은 횡수가 증가함에 따라 사용연수가 감소되며, 연약지반에 설치된 BOX구조물이나 교대 뒷채움 인근의 단차 발생 시 덧씌우기 공법은 일시적인 대책은 가능하다. 하지만, 덧씌우기 두께에 대한 하중만큼 추가 하중이 발생하게 되므로 결국 단차에 대한 해결책은 되지 못할 뿐만 아니라, 도로의 기능을 저하시키게 된다.

경량기포혼합토는 재료의 경량성으로 인하여 구조물 등에 작용하는 하중이 작아 덧씌우기 공법에 의한 단차이를 줄일 수 있으며, 유지보수비용도 일반토사에 비하여 더 적게 소요되는 특징이 있다. 그러나 초기시공비가 일반토사보다 많이 소요되어 아직 국내에는 적용되고 있지 않다.

따라서 BOX구조물 뒷채움 재료 선정 시 일반토사를 적용하는 방법과 경량기포혼합토를 적용하는 방법의 각 대안의 LCC를 비교·분석함으로써 보다 합리적인 의사결정을 지원할 수 있는 경제성 분석을 제시하는 것을 연구의 목적으로 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 BOX구조물 뒷채움 재료 선정에 있어서 일반토사와 경량기포혼합토의 적용에 따른 LCC 분석을 실시하도록 한다. 경제성 분석 항목으로는 국소보수비용, 전구간보수비용, 덧씌우기 횡수 등이며, 이 항목들로 LCC 분석을 실시하여 정량적인 평가 기준을 제시한다.

단, 평가를 위해서는 기 시행된 부산 00도로를 적용대상으로 하며, 연구의 진행방법은 다음과 같다.

- (1) 비용비교를 위한 경량기포혼합토의 특징을 분석한다.
- (2) LCC 분석을 통하여 대안들의 경제성을 분석한다.
- (3) LCC 시나리오별 민감도 분석을 실시하여 각 대안의 경제성 분석을 실시한다.

\* 일반회원, 부경대학교 대학원 건설관리공학협동과정 석사과정, lshmh01@nate.com  
\*\* 종신회원, 부경대학교 건설공학부 교수, 공학박사 kims@pknu.ac.kr  
\*\*\* 일반회원, 부경대학교 산업과학기술연구소 연구원, 공학박사 truelie77@hanmail.net

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 경량기포혼합토

경량기포혼합토는 액성한계이상으로 조정하여 슬러리화 시킨 준설토와 건설발생토등의 원료토와 고화재 및 경량화재료를 첨가·혼합해서 매립과 뒷채움용의 지반재료로서 사용하고, 경량으로 안정한 지반을 만들어 내는 혼합처리토 또는 경량혼합토라 한다.<sup>1)</sup> 여기서, 원료토란 준설토 또는 현장내 발생토로서 경량혼합토의 모재가 되는 흙을 말하며, 고화재는 소정의 강도를 확보하기 위하여 첨가하는 시멘트계 재료를 말하고, 필요에 따라 그 외의 특수고화제도 사용할 수 있다. 경량화재는 지반재료를 경량화하기 위하여 혼합하는 재료로서 일본에서는 주로 기포 및 발포비즈를 대상으로 하고 있으며, 본 연구에서는 기포를 대상으로 한다. 기포는 기포제를 물(해수 또는 담수)로 희석하여 발포하고, 경량화를 위하여 혼합하는 재료를 말하며, 발포방식을 주로 사용한다. 경량기포혼합토의 활용은 항만시설물의 뒷채움재로 사용하여 구조물 배면토압의 경감 및 측방유동압을 경감시킬 수 있으며, 또한 벽체구조물간의 간이화와 되메움 토압의 경감작용에 활용할 수 있다.

경량기포혼합토는 초기시공비용이 많이 소요되어 아직 적용되고 있지 않지만, 일반토사에 비해 유지관리비 및 보수비가 적게 소요되고 연약지반 뒷채움 재료에 있어서 경량성이라는 장점이 있기 때문에 두 대안의 효율적 선택을 위해서는 LCC 분석이 필요하다.

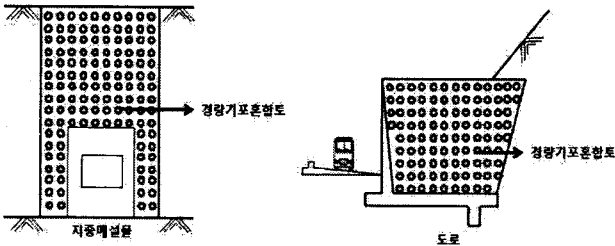


그림 1. 경량기포혼합토의 활용

### 2.2 LCC 분석

시설물의 생애주기비용(Life Cycle Cost)은 시설물의 생애주기 동안에 발생하는 모든 비용, 즉 초기투자, 유지관리, 해체·폐기 등에 소요되는 전체비용의 총합을 의미한다. 기본적인 LCC 분석절차는 우선 비용분석이 필요한 프로젝트의 수명기간을 몇 단계로 구분하고, 각 단계별로 예상되는 모든 비용요소에 대한 비용을 산정한 다음, 여러 가지 경제적 분석기법 중에 적절한 기법을 선정하여 각 단계별 비용요소에 적용하는 과정으로 이루어진다. 따라서 LCC는 프로젝트의 여러 가지 투자 대안 중 최적안을 선택하는 데 고려하여야 할 모든 중요한 요소들에 대하여 주어진 기간에 따른 금전적 가치의 비교를 통하여 경제적 평가를 수행하는 절차라고 정의할 수 있다. 일반적으로 운영비용의 현재 가치가 보통 초기 투자비용을

많이 초과하는 프로젝트에 있어서 매우 중요하며, LCC 분석 방법으로는 현가법과 연가법이 있으며, 이들은 모두 물가 상승률, 인건비 상승률, 에너지비 상승률 등 여러 상승률이나 금리를 고려해서 전체 건물 사용기간 중에 발생하는 총비용이다. 즉 '생애비용'을 현재가치나 연평균비용으로 환산하여 대안에 대하여 경제성을 비교 판단하는 것이다.

표 1. 경량기포혼합토와 일반토사의 비교

	경량기포혼합토	일반토사
초기시공비용	비싸다	싸다
단차발생크기	작다	크다
국소보수횟수	1회/년	2회/년
전구간보수횟수	1회/5년	1회/2년

이상의 경량기포혼합토의 특징 중 경량성으로 인한 하중저감의 단차이에 따른 덧씌우기 비용과 일반토사 사용시 발생하는 단차이에 따른 덧씌우기 비용을 LCC 분석을 통하여 두 대안의 경제성을 고려하려고 한다. 그 이유로는 경량기포혼합토는 초기시공비는 많이 소요되지만, 국소보수횟수나 전구간보수횟수 등 유지관리비용은 일반토사에 비하여 적게 소요되며, 단순히 초기시공비용만으로는 어느 대안이 더 좋다고 판단하기에는 무리가 있기 때문에 LCC 분석을 통해 두 대안의 경제성을 고려하고자 한다.

## 3. 과업 대상의 LCC 분석

### 3.1 각종 비용의 추정

#### (1) 초기공사비 추정

본 연구에 있어서 초기공사비를 추정하기 위하여 부산 00도로의 사례를 적용하였으며, 부산 00도로는 경량기포혼합토 적용 시 일반적인 도로보수만 필요로 하며, 일반토사 적용 시 단차의 발생으로 일반적인 도로보수 및 국소보수가 필요로 하였다. 이와 같은 시공법을 전제로 경량기포혼합토 사용 대안의 초기 공사비와 일반토사 사용 대안의 초기공사비의 비교결과는 아래 표 3과 같으며 이를 적용하여 LCC 분석을 하고자 한다.

표 2. 초기공사비

(단위:천 원)

경량토사업비 (총 6개소)	토공부사업비 (총 6개소)	비고
1,851,479	463,772	초기투자비 약4배

#### (2) 포장수명의 추정

본 연구에서 사례로 하고 있는 부산 00도로의 유지관리는 단차에 의한 영향은 반영하지 않으며, 차량하중 등의 영향으로 노체의 파손에 의한 보수의 개념이다. 단차 발생시 유지보수는 즉각적으로 실행되어야 하나 명확한 기준 및 방침이 없으며, 건설시험사업소는 부산 00 인근 단차 발생 시 표 2 와 같이 덧씌우기에 의한 유지보수를 시행하고 있다.

1) 김주철, "준설토를 사용한 경량기포혼합토의 거동에 관한 실험적 연구", 단국대학교 대학원 토목공학과 박사학위논문

표 2. 00 인근 단차에 의한 유지보수 예

	부분적 덧씌우기 (중방향 5m 내외)	전 구간 덧씌우기
덧씌우기 횟수	5~6회 / 년	1회 / 2년
덧씌우기 두께	5~20cm	5cm
비 고	현장에 따라 상이 적용	-

따라서 본 연구도 건설시험사업소의 유지보수 사례의 결과를 준용하여 분석에 적용하기로 한다.

(3) 덧씌우기 비용 추정

덧씌우기 주기 및 두께는 건설시험사업소의 00 인근의 현황을 기준으로 비용을 추정하였다. 비용 추정은 전구간 보수비용과 국소보수비용으로 구분하되 국소보수비용의 경우 철거를 포함하도록 하며 전구간 보수비용은 철거 없이 덧씌우기 공정을 가정하여 추정하였다.

경량기포혼합토 적용 시 유지보수는 '전구간보수를 대상으로 5년에 1회, 국소보수는 1년에 1회를 적용하였고, 일반토사의 경우 국소보수는 연간 2회, 전구간보수는 2년에 1회를 기준으로 하되 보수 횟수는 매년 달라질 수 있으므로 별도로 민감도 분석을 실시하였으며, 위 금액은 시공비, 재료비, 운반비를 포함한 금액이며 2008년 기준 불변가격으로 경제성 평가 시 매년도의 물가상승률을 반영하도록 한다.

표 4. 포장 덧씌우기 단가 추정 결과

(단위:천원)

분류	주기	두께	길이	폭	회당 비용
전구간보수	1회/2년	5cm	1,600m	20m	310,052
국소보수	(1회~6회) /1년	7cm	(20m+20m)×6 EA=240m	20m	83,374

위 표4와 같이 포장 덧씌우기 단가를 추정 하였으며, 이 추정된 결과를 토대로 경량기포혼합토와 일반토사 대안에 대하여 LCC 분석을 하도록 한다.

3.2 과업 대상의 LCC 분석

기준시점은 분석의 편의를 위하여 1월 1일이 기준시점이고 분석방법은 현금할인법을 사용하였으며, 1995년부터 2008년까지의 평균 물가상승률인 3%를 적용하였다. 기준 할인율은 기획예산처가 고시한 도로사업의 타당성분석 기준 할인율인 6%를 적용하였으며, 초기공사비와 덧씌우기 비용을 LCC 분석하였다. 단, 하중에 의한 유지보수비와 기타 비용은 두 대안 모두 동일한 것으로 가정하였다.

$$PV = \sum_{n=1}^k \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad AV = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} P$$

위의 수식을 이용하여 현금흐름할인방법으로 분석을 한 결과 표5와 같이 분석되었다.

표 5. 각 대안의 LCC 현금흐름 분석 결과

(단위:천원)

구분	일반토사 사용대안			경량기포혼합토 사용 대안		
	불변가격	경상가격	현재가치 할인가격	불변가격	경상가격	현재가치 할인가격
2008	463,772	477,685	450,646	1,851,479	1,907,023	1,799,079
2009	166,749	176,904	157,444	83,374	88,452	78,722
2010	476,801	521,013	437,453	83,374	91,105	76,494
2011	166,749	187,677	148,658	83,374	93,839	74,329
2012	476,801	552,743	413,041	83,374	96,654	72,225
2013	166,749	199,107	140,362	310,052	370,218	260,989
2014	476,801	586,405	389,993	83,374	102,540	68,195
2015	166,749	211,232	132,530	83,374	105,616	66,265
2016	476,801	622,117	368,230	83,374	108,785	64,389
2017	166,749	224,096	125,134	83,374	112,048	62,567
2018	476,801	660,004	347,682	310,052	429,184	226,089
2019	166,749	237,744	118,151	83,374	118,872	59,076
2020	476,801	700,198	328,280	83,374	122,438	57,404
2021	166,749	252,222	111,558	83,374	126,111	55,779
2022	476,801	742,840	309,961	83,374	129,894	54,200
2023	166,749	267,583	105,333	310,052	497,542	195,856
2024	476,801	788,079	292,664	83,374	137,805	51,176
2025	166,749	283,878	99,455	83,374	141,939	49,728
2026	476,801	836,073	276,333	83,374	146,197	48,320
2027	166,749	301,167	93,905	83,374	150,583	46,953
2028	476,801	886,990	260,913	310,052	576,788	169,665
합계	6,899,265	9,715,754	5,107,726	4,425,676	5,653,635	3,637,499

현금흐름 분석결과 일반토사 대안의 경상가격 총 합은 97억 천오백만원, 현재가치 할인가격의 총 합은 51억원으로 분석되었으며, 경량기포혼합토의 경상가격 총 합은 56억 5천만원, 현재가치 할인가격의 총 합은 36억 3천만원으로 분석 되었다.

표 6. 대상 과업의 LCC 분석 결과 요약

(단위 : 천원)

	일반토사 대안	경량기포혼합토 대안
불변가격 합계	6,899,265	4,425,676
경상가격 합계	9,715,754	5,653,635
현재가치 할인가격 합계	5,107,726	3,637,499
차액		-1,470,227

현금흐름할인법으로 두 대안의 LCC 분석을 실시한 결과 현재가치 할인가격 합계가 일반토사 사용대안 보다 경량기포혼합토 사용대안이 14억 7천만원 정도 적게 소요되는 것으로 분석되었다.

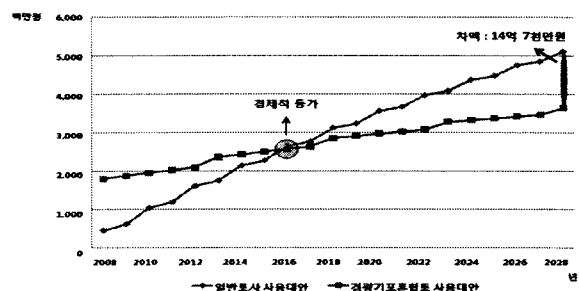


그림 2 각 대안별 LCC 누적 현금흐름 비교표

위 그림2에서 볼 수 있듯이 경량기포혼합토 사용 대안이 초기 경제적 부담은 있지만 사용 8년째부터 일반토사 사용 대안 보다 경제적 타당성이 있다는 것으로 분석되었다.

### 3.4 민감도 분석

이상의 LCC 분석의 결과 경량기포혼합토를 적용한 대안의 경제성이 일반토사에 비하여 월등한 수준의 물가상승률이나 할인율에 따른 민감도 분석은 의미가 없다. 다만, 국소보수의 경우 연간 몇 차례 보수를 실시하느냐에 따라 비용차이가 크기 때문에 이에 대하여 민감도 분석을 실시한다. 민감도 분석의 범위는 현재 일반토사의 경우 연간 2회를 기준으로 하고 있으므로 국소보수를 실시하지 않는 경우를 포함하여 0회에서 6회 까지 민감도 분석을 실시하였다. 분석기준은 현재가치할인가격이며, 분석 결과는 다음 표7과 같다.

표 7. 일반토사 대안의 연간 국소보수 횟수에 따른 LCC 비교 (단위 : 천원)

회수	일반토사 유지비	경량기포혼합토 유지비	LCC 차액	경제적등가 사용년수
0	2,677,549	2,651,678	25,871	17년
1	3,892,637	3,637,499	255,138	12년
2	5,107,726	3,637,499	1,470,227	7년
3	6,322,815	3,637,499	2,685,316	6년
4	7,537,904	3,637,499	3,900,405	5년
5	8,752,993	3,637,499	5,115,494	4년
6	9,968,082	3,637,499	6,330,583	3년

민감도 분석을 실시한 결과 사용대안을 20년 이상으로 가정할 때 부분보수 횟수에 상관없이 모든 대안에서 경량기포혼합토 적용대안의 경제성이 더욱 높은 것으로 분석 되었다.

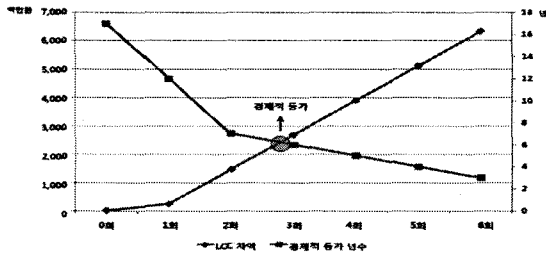


그림 3 국소보수 횟수에 따른 LCC 민감도 분석 결과

위 그림3에서 볼 수 있듯이 국소보수가 3회 이상의 경우 누적 비용을 감안할 때 사용기간이 6년 이상이면 경량기포혼합토의 경제성이 더욱 높은 것으로 분석되었다.

### 4. 결론

본 연구는 BOX구조물 뒷채움 재료 선정에 있어서 일반토사와 경량기포혼합토의 경제적 선택을 위하여 LCC 경제성 분석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 현금할인법을 사용하여 각 대안의 LCC 분석을 실시한 결과 경량기포혼합토를 사용할 경우 사용연수가 8년째 되는 해부터 경량기포혼합토가 경제적인 것으로 분석되었다.

(2) 대상 과업구간의 사용기간을 20년으로 볼 때 경량기포혼합토 적용 대안의 경제적 이득은 현재가치 할인가격을 기준으로 14억 7천만원으로 분석되었으며, 20년간의 경상가격을 비교할 경우의 차액은 40억 원으로 예상되며 이는 경량기포혼합토 사용 대안 공사비의 2배에 달하는 금액이다.

(3) LCC 분석 결과 경량기포혼합토 사용 대안의 경우 유지보수비가 일반토사 적용대안과 비교하여 매우 적게 드는 것으로 나타났으며, 부분보수의 횟수에 따라 달라지지만 운영기간 6년 이내에 경제성을 확보할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 일반토사와 경량기포혼합토의 두 대안 중 LCC 경제성 분석은 경량기포혼합토가 더 경제적인 것으로 분석 되었으며, 향후 BOX구조물의 뒷채움 재료 선정 시 경제성 분석의 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 국토해양부 도로설계기준, 2005
2. 김주철, "준설토를 사용한 경량기포혼합토의 거동에 관한 실험적 연구", 박사학위 논문, 단국대학교 대학원, 2002
3. 박태근, "Life Cycle Cost 분석에 의한 공동주택의 최적설계 방법론에 관한 연구, 박사학위 논문, 서울대학교 대학원, 1992
4. 손원표 외, "도로포장의 수명주기비용(LCC) 분석기법" 한국도로포장공학회, 제3권 1호, 2001

### Abstract

The lightweight bubble mixture soil are lightweight soft ground rear, which is used with the material filling. However, comparing with the general soil, it is not valuably useful from domestic. The utilization of the general soil which initial public corporation holds mainly few. The overlay method of general soil decreasing the number of layers increases according to use research study. From the research which consequently, BOX mechanical behavior materials rear executed LCC analyses the general soil which is a material filling and lightweight bubble mixture soil, discussed two kind alternatives and presents the analysis will be able to support the decision-making which is rational from the economics. The expense, which results from the resultant of lightweight bubble mixture soil maintenance, was fewer and was then analyzed with the fact that, will be able to secure an economical efficiency within 6 years.

Keywords :Lightweight mixture soil, Overlay method, LCC, economic analysis