

터널 조명 고압나트륨램프와 LED램프의 LCC 분석 사례 연구

이규필^{1*} · 김정흠²

¹정회원, 한국건설기술연구원 지반연구본부 수석연구원

²정회원, 한국건설기술연구원 지반연구본부 전임연구원

A case study of life cycle cost analysis on high pressure sodium lamp and LED lamp for tunnel lighting

Gyu-Phil Lee^{1*} · Jeong-Heum Kim²

¹Senior Researcher, Dept. of Geotechnical Engineering Research, KICT

²Researcher, Dept. of Geotechnical Engineering Research, KICT

*Corresponding Author : Gyu-Phil Lee, freely@kict.re.kr

Abstract

Tunnel is the most energy-consuming structure in road due to the characteristic of using artificial lighting during day and night. Therefore, tunnel lights are being replaced by LED lamp that have advantages with respect to low power consumption. The best use of social overhead capital can be expected by considering the life cycle cost, because to tunnel structures are accompanied by a series of medium-to-long-term and continuous processes of replacing auxiliary facilities. In this study, the saving effect by LCC analysis was quantitatively analyzed by replacing tunnel light sources from high-pressure sodium lamps to LED lamps. The effect of reducing the replacement cycle by increasing the life of the lamps and the resulting maintenance cost is very significant, on replacing tunnel lighting light sources with LED lamp.

Keywords: Tunnel lighting, High pressure sodium lamp, Light emitting diode (LED), Life cycle cost

초 록

터널은 주·야간 모두 인공조명을 사용해야 되는 특성으로 인해 에너지 소비가 가장 많이 발생하는 도로 공간으로, 전기요금 절감 등을 위해 기존 터널조명 광원 대비 낮은 소비전력, 장수명의 장점을 갖는 LED램프로 교체 중에 있다. 터널구조물은 공용 중 부속 시설 교체라는 일련의 중장기적이고 지속적인 과정이 수반되므로, 시설물 공용기간 동안의 생애주기비용을 고려해야 사회간접자본의 효율적인 활용을 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서 터널 조명광원을 고압나트륨램프에서 LED램프로 교체 시 LCC측면의

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
23(5)315-323(2021)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2021.23.5.315>

eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

Received July 29, 2021
Revised August 17, 2021
Accepted August 24, 2021



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2021, Korean Tunnelling and Underground Space Association

절감효과를 정량적으로 분석하였으며, 터널 조명 광원을 LED램프로 교체 시 램프의 수명증대에 의한 교체주기 감소 및 이로 인한 유지관리 비용 감소효과가 매우 큰 것으로 나타났다.

주요어: 터널조명, 고압나트륨램프, 발광다이오드(LED), 생애주기비용

1. 서론

터널구조물은 설계 및 시공 후 안전점검 및 정밀안전진단 등의 유지관리, 장기공용에 따라 발생하는 균열, 누수 등 결함의 보수보강 및 터널 내 부속시설의 교체라는 일련의 중장기적이고 지속적인 과정이 수반된다. 따라서 터널구조물 시공시의 초기비용 이외에 보수보강 및 터널 내 부속시설의 보수나 교체를 위한 유지관리비용, 그리고 교체/보수/보강작업 등을 위한 차량통행 제한 및 교통처리, 우회 등으로 발생할 수 있는 간접손실비용 등이 추가로 발생하게 되며, 이에 따라 시설물 공용기간 동안의 생애주기비용(Life Cycle Cost, 이하 LCC)을 고려해야 사회간접자본의 효율적인 활용을 기대할 수 있다.





LCC분석평가는 시설물의 설계, 시공, 유지관리 및 폐기까지 전 생애주기 동안 소요되는 비용을 경제적으로 예측·평가하는 기법(Mearig et al., 1999)으로서, 경제적 수명 전반에 걸쳐 발생하는 제비용의 합(총비용)을 비교하기 편리한 일정한 시점으로 등가 환산하여 가치를 평가하는 분석기법을 의미한다(Lee et al., 2014). 일반적으로 계획/설계비, 건설비, 유지관리비, 폐기물 처분비용 합으로 구성되며, 정의된 비용 분류체계에 따라 분석수준을 결정할 수 있다(Cho et al., 2001; Kim and Yun, 2010).

터널은 주·야간 모두 인공조명을 사용해야 되는 특성으로 인해 에너지 소비가 가장 많이 발생하는 도로 공간이며, 도로터널 유지 관리비의 약 60%가 인공조명 전기요금으로 사용되고 있다(Lee and Lee, 2013). 이러한 전기요금의 절감을 위해 최근 들어 형광등, 나트륨램프, 메탈할라이드램프, 무전극램프 등과 같은 기존 터널조명 광원 대비 낮은 소비전력, 장수명의 장점을 갖는 LED램프의 활용이 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서 터널 조명 광원을 고압나트륨램프에서 LED램프로 교체 시 LCC측면의 절감효과를 정량적으로 분석하였다.

2. LCC 분석 대상

본 연구에서 LCC 분석을 위한 비교대상은 ○○터널(상)(하) 등 6개 터널의 유지관리 자료를 조사하여 활용하였으며, 비교대상은 다음 Table 1과 같이 기존 터널조명에 많이 적용된 고압나트륨램프와 수명 및 경제적 효율성이 우수하여 최근 확대 적용되고 있는 LED램프를 선정하였다. 선정된 분석대상의 램프 특성에 따라 점등되는 등기구의 위치 및 개수변화에 따른 램프수명과 교체주기 등을 검토하였으며 초기공사비, 유지보수비, 교체주기 등을 분석하였다.

Table 1. Review of tunnel ramp

Classification	High pressure sodium lamp	LED lamp
Product example		
Installation status		

3. LCC 분석 조건

LCC 분석은 시설물 또는 설비시스템 등에 대하여 경제적 수명 전반에 걸쳐 발생하는 제비용의 합 즉, 총비용을 비교하기 편리한 일정한 시점으로 등가환산한 가치로써 경제성을 평가하는 방법으로 시설물의 미래의 불확실한 예측을 바탕으로 한다. 그러므로 분석을 위해서는 기본적인 가정이 필수적으로 요구되며, 본 연구에서 고려된 기본가정들은 다음과 같다.

3.1 램프 수명에 따른 교체주기 및 분석기간

분석기간은 LCC 분석 결과에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중의 하나로서 총비용을 분석하는 목적에 따라 내용연수(시설물의 수명)를 정의하고 그 기간을 결정하여야 한다. 본 연구에서 터널 조명등의 수명은 다음 Table 2와 같은 자료조사 및 근거를 통해 고려하였다.

Table 2. The lifespan of the tunnel lights

Classification	High pressure sodium lamp	LED lamp
Public procure service	Defect repair : 1 year	Defect repair : 3 year
Specification of work	12,000 hour over	50,000 hour over

터널은 주·야간 상시 인공조명을 사용하고 있으나, 주간 및 야간 시간대별 외부 환경변화 및 기상조건, 일조시간 변화 등 계절적 영향에 따라 점등되는 등기구의 위치 및 개수가 변화한다. 따라서 본 연구에서 터널 조명등의 수명에 따른 교체주기는 고압나트륨램프 수명 12,000시간, LED램프 수명 50,000시간, 1일 12시간 점등조건을 기준으로 고압나트륨램프 3년, LED램프 11년의 교체주기를 산정하였다. 또한 분석기간 설정 시 서로 다른 생애

주기를 갖는 대안 비교 시에는 최소공배수를 분석기간으로 설정하는 것이 바람직하므로 본 연구에서 분석기간은 33년으로 설정하였다.

3.2 할인율

LCC 분석에는 미래의 발생비용을 현재의 가치로 환산하는 과정으로 비용의 시간가치 계산을 위하여 할인율이 이용되며, 한국은행 경제통계시스템에서 제공하는 금리, 소비자물가지수를 토대로 계산된 실질할인율은 Table 3과 같다. Table 3에서 2006~2018년 평균 실질할인율은 1.62%이지만 현재 이후의 물가가치를 반영하기 어려운 단점이 있어, 본 연구에서는 LED 조명 도입 전략 및 로드맵 수립(Korea Expressway Corporation, 2015)에서 적용한 할인율 3%를 적용하였다.

Table 3. Real discount rate

Index		Year													Ave.
Year		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Interest rate (%)		5.37	5.44	5.60	5.39	4.98	4.34	3.53	3.46	3.37	2.48	1.82	2.33	2.47	3.89
Inflation	Consumer index	80.2	82.2	86.1	88.5	91.1	94.7	96.8	98.0	99.3	100	101	103	104	-
	Inflation rate (%)	2.24	2.53	4.67	2.76	2.94	4.03	2.19	1.30	1.27	0.71	0.97	1.94	1.48	2.23
Real disc. rate (%)		3.06	2.83	0.88	2.56	1.98	0.30	1.31	2.13	2.07	1.76	0.84	0.38	0.98	1.62

4. 비용산정

터널 조명 광원을 고압나트륨램프로 LED램프로 교체 시 전력사용량 변화에 따른 LCC 분석을 위하여, 본 연구에서는 ○○터널(상)(하) 등 6개 터널의 총연장과 설치된 등기구와 기존 내역서 및 공사자료 등을 통해 초기공사비 및 교체비용을 분석하였고 광원교체 전·후 전력요금 조사자료 등을 통해 전력요금을 산정하여 유지보수비를 분석하였다.

4.1 초기공사비

LCC 분석을 위한 비교대상인 ○○터널(상)(하) 등 6개 터널은 각각 2001년, 2002년, 2004년에 준공되었으며, 공용연수 경과에 따른 물가상승률 등을 고려한 고압나트륨램프 설치 초기공사비 산정 시 불확실성이 높다.

따라서 본 연구에서는 최근 시공 중인 터널 내 고압나트륨램프로 설계된 ◇◇터널과 LED램프로 설계된 ☆☆터널에 대한 설계 자료를 분석하였으며, 각 설계에 반영된 단위 미터(m)당 공사비를 토대로 낙찰율 85%를 가정하여 산정하였다. 상기 기준에 따라 산정된 초기공사비는 고압나트륨램프의 경우 303,935원/m, LED램프의 경우 325,767원/m이다.

4.2 전력요금

터널 유지보수비인 전력요금은 각 터널별로 광원교체 전·후 12개월간의 전력요금을 조사하였으며, 이를 토대로 월 평균 전력요금을 산정하여 Table 4와 같이 정리하였다.

Table 4. Average monthly electricity bill (unit: KRW)

Classification	Total length (m)	High pressure sodium lamp (period)	LED lamp (period)
○○ Tunnel	1,212	67,911,562 (2015.01~2015.12)	39,226,379 (2018.01~2018.12)
△△ Tunnel	1,835	76,046,770 (2015.11~2016.10)	41,906,590 (2018.01~2018.12)
□□ Tunnel	2,450	74,356,455 (2017.01~2017.12)	31,896,085 (2018.05~2019.04)

4.3 교체비용

기존 터널 조명 광원인 고압나트륨램프를 전면 교체한 사례가 확인되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 단위 미터(m)당 공사비 견적비용인 235,935천원을 토대로 낙찰율 85%를 가정하여 Table 5에서와 같이 산정하였다. 또한 LED 램프 광원교체 공사비는 재료비(등기구 비용), 철거/설치노임, 폐기물처리비 및 기타공사비 등이 포함된 관련 공사계약금액을 기준으로 산정하였다.

Table 5. Replacement costs (unit: KRW)

Classification	High pressure sodium lamp	LED lamp
○○ Tunnel	243,060,000	158,900,000
△△ Tunnel	367,999,000	192,500,000
□□ Tunnel	491,334,000	193,700,000

5. LCC 분석 결과

5.1 대상 터널별 LCC 분석 결과

분석대상 터널 별 LCC 비용분석의 비교결과는 Fig. 1과 같으며, 합계(total)는 33년간 총 LCC의 합계를 나타낸다. Fig. 1(d)에서 보이는 바와 같이 고압나트륨램프 대비 LED램프의 전기료, 교체비용 등 유지관리비용은 약 14% 수준인 것으로 나타났다.

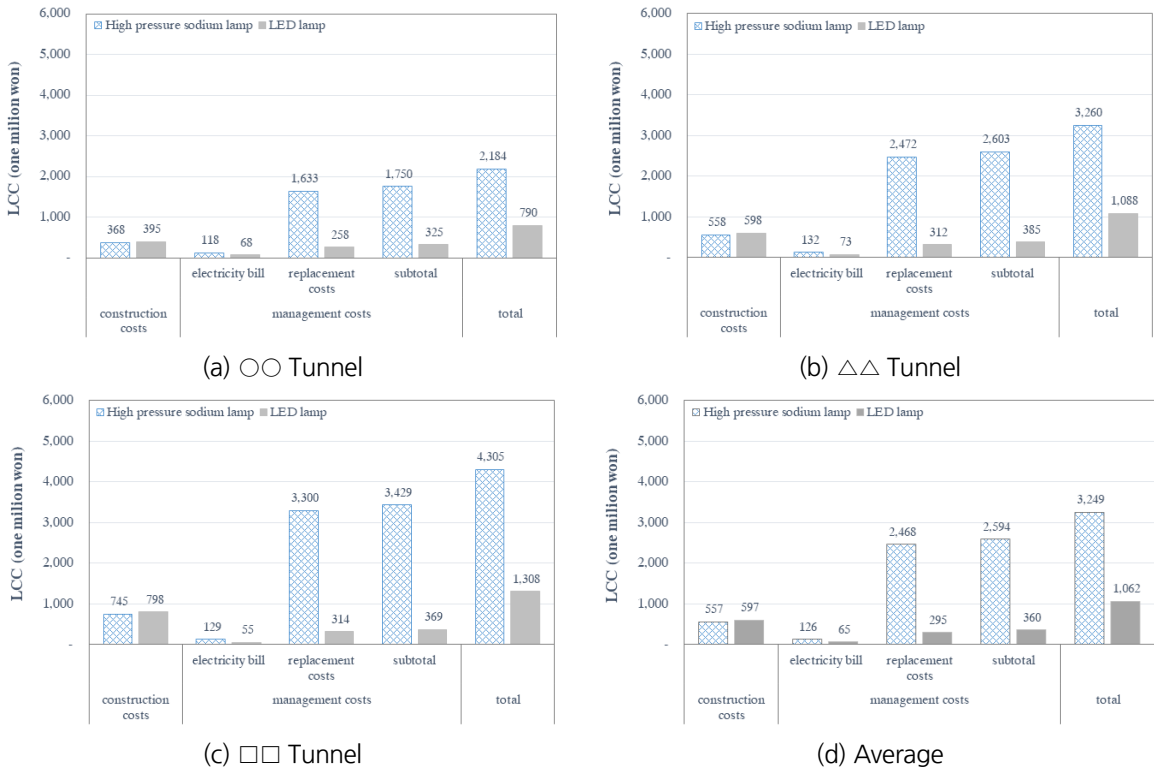


Fig. 1. LCC comparison of high pressure sodium lamp and LED lamp

터널 별 LCC 비용에 대한 고압나트륨 램프와 LED 램프의 비교분석 결과, 초기공사비의 경우 OO터널의 경우 368백만원에서 395백만원으로, △△터널은 558백만원에서 598백만원으로, □□터널은 745백만원에서 798백만원으로 증가하는 것으로 나타났으며, 평균치는 557만원에서 597백만원으로 약 7% 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 전기요금은 OO터널은 118백만원에서 68백만원으로, △△터널은 132백만원에서 73백만원으로, □□터널은 129백만원에서 55백만원으로 절감되어, 평균치는 126백만원에서 65백만원으로 약 42% 절감되는 것으로 분석되었다.

교체비용의 경우는 OO터널은 1,633백만원에서 258백만원으로, △△터널은 2,472백만원에서 312백만원으로, □□터널은 3,300백만원에서 314백만원으로 교체비용이 절감되어, 평균치는 2,468백만원에서 295백만원으로 약 88% 절감되는 것으로 분석되었다.

검토 대상 터널의 경우 터널별로 다소 편차가 발생하였지만, 고압나트륨램프 대비 LED램프의 절감효과를 LCC 요소별로 분석한 결과로부터 LED램프의 초기공사비는 다소 증가하는 반면에 전기요금 및 교체비용은 상당히 절감되는 것으로 분석되었다. 이러한 결과로부터 고압나트륨램프를 LED램프로 교체 적용함에 따라 LCC 비용의 충분한 저감효과를 기대할 수 있음을 확인할 수 있었다.

5.2 LCC 구성요소별 분석 결과

고압나트륨램프와 LED램프의 LCC 구성요소별 비율에서 가장 큰 차이점은 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 고압나트륨램프의 경우 초기공사비, 전기요금, 교체비용이 각각 20%, 4%, 76%이고, LED램프의 경우 각각 66%, 6%, 28%로 고압나트륨램프와 LED램프의 LCC 구성요소 별 비율이 크게 변동하는 것으로 분석되었다. 이러한 변동원인은 초기공사비는 고압나트륨램프와 LED램프가 큰 차이가 발생하지 않지만, LED램프 교체 시 전기요금에서 42% 절감과 교체비용에서 88% 절감에 따른 유지관리비용에서의 큰 차이가 발생하는데 기인한 것으로 판단된다.

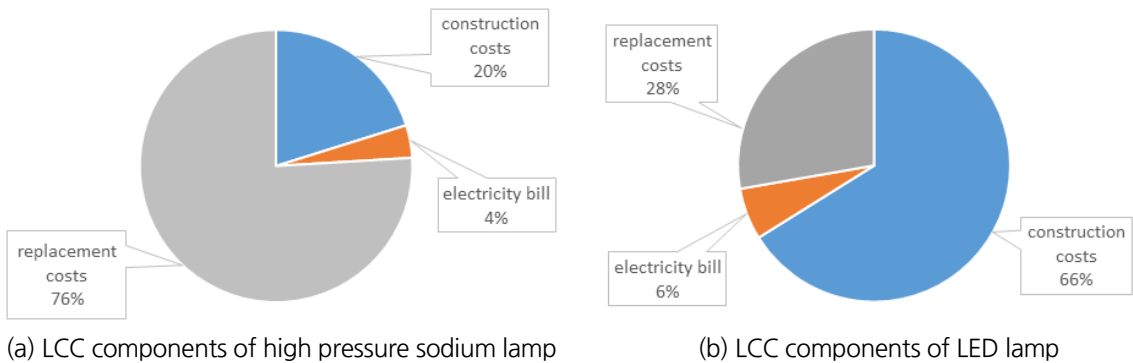


Fig. 2. LCC components of high pressure sodium lamp and LED lamp

이러한 결과분석을 통해 특히 LED램프의 교체비용이 적게 발생하여 LCC 비용에서 고압나트륨램프에 비해 구성비율이 현격히 떨어지는 것으로부터 유지관리비용이 대폭 절감되고 효율성이 개선되는 것을 확인할 수 있다.

5.3 LCC 분석에 따른 고찰

Lee and Kim (2021)의 연구에 따르면 터널 조명 광원을 고압나트륨램프에서 LED램프로 교체 시 전력사용량은 평균 약 47% 감소하며, 이로 인한 유지관리 비용이 크게 절감될 것으로 예상되었다.

본 연구결과는 전력사용요금이 평균 약 42% 감소되는 것으로 분석되어 Lee and Kim (2021)의 연구결과와 다소 차이가 발생하지만 절감효과의 규모측면에서 고려했을 때 유사한 절감효과를 확인하였으며, 이러한 분석결과의 차이는 검토대상의 차이와 할인율 등에 의해 기인한 것으로 판단된다.

또한 분석결과로부터 터널 조명 광원을 고압나트륨램프에서 LED램프로 교체 시 전력사용량 감소에 의한 유지관리 비용 감소효과 보다 등기구의 수명증대에 의한 교체주기 감소 및 이로 인한 유지관리 비용 감소효과가 매우 큰 것으로 분석되어 등기구의 장수명화가 전체적인 LCC에 있어 가장 효과적인 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 터널(상)(하) 등 6개 터널의 유지관리 자료를 조사하여 고압나트륨 램프와 LED램프의 LCC 비교분석을 수행하였으며, 터널 조명등의 수명에 따른 교체주기는 고압나트륨램프 3년, LED램프 11년을 적용하고 분석기간은 33년으로 설정하였다. 또한 할인율은 한국도로공사(Korea Expressway Corporation, 2015)에서 적용한 할인율 3%를 적용하여 분석하였다.

터널 조명 광원을 고압나트륨램프에서 LED램프로 교체 시 전력사용량 변화에 따른 LCC 분석을 위하여 기존 터널 조명 광원인 고압나트륨 램프와 교체 조명인 LED 램프의 초기공사비를 산정하였고 터널별로 광원교체 전·후 18~42개월간의 전력요금의 조사를 통해 전력요금을 산출하였다. 또한 고압나트륨 램프와 LED 램프의 광원별 교체주기를 바탕으로 터널 조명 광원별 33년간 교체비용을 산정하였다.

LCC 분석결과 터널 조명 광원을 고압나트륨램프에서 LED램프로 교체 시 초기공사비는 평균 약 7%로 다소 증가되는 것으로 분석된 반면, 전력사용요금은 평균 약 42% 감소되고 교체비용의 경우는 평균 약 88% 절감되는 것으로 분석되었다. 따라서 LED램프로 교체 시 유지관리 비용이 충분히 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 유지관리비용의 절감은 전력사용량의 감소보다는 교체비용의 절감에 따른 효과가 큰 것을 알 수 있다. 또한 교체비용의 감소요인은 등기구의 수명증대에 의한 교체주기 감소로 인한 비용감소 효과가 큰 것으로 판단되며, 이를 통해 등기구의 장수명화에 따른 LCC 효율성이 가장 큰 것으로 사료된다.

LCC 구성요소별 비율에 대한 고압나트륨램프와 LED램프의 분석결과는 고압나트륨램프의 초기공사비, 전기요금, 교체비용이 각각 20%, 4%, 76%이고 LED램프는 각각 66%, 6%, 28%로, LCC 구성요소별 비율이 크게 변동하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과로부터 LED램프의 교체비용이 현격히 적게 발생하여 LCC 비용에서 고압나트륨램프에 비해 구성 비율이 많이 떨어지는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 등기구의 수명증대에 의한 교체주기 감소 및 이로 인한 유지관리 비용 감소효과가 매우 큰 것을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 “2021년 터널관리시스템 운영”의 일환으로 작성되었습니다.

저자 기여도

이규필은 연구 개념 및 설계, 원고 작성을 하였고, 김정흠은 데이터 수집 및 데이터 분석을 하였다.

References

1. Cho, H.N., Choi, H.H., Jung, P.K., Lim, J.K. (2001), “A study on life cycle cost analysis of latex modified concrete pavement for bridges”, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection,

Vol. 5, No. 4, pp. 185-195.

2. Kim, K.W., Yun, S.H. (2010), "A case study of life cycle cost analysis on apartment houses and Han-Ok", *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 10, No. 6. pp. 1-6.
3. Korea Expressway Corporation (2015), "The establishment of LED lighting introduction strategy and the roadmap", pp. 89-103.
4. Lee, G.P., Kim, J.H. (2021), "Analysis of power usage and illuminance changes due to the replacement of tunnel lighting source from high pressure sodium lamp to LED", *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 23, No. 4, pp. 211-220.
5. Lee, M.A., Lee, D.H. (2013), "A study on effects of landscape design of road tunnel portal to interior lighting of tunnels", *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 15, No. 5, pp. 497-504.
6. Lee, S.S., Kim, K.Y., Kim, D.G., Shin, H.S., Seo, J.W. (2014), "A research framework for development of a LCCA based tunnel asset management system", *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 16, No. 6, pp. 615-625.
7. Mearig, T., Coffee, N., Morgan, M. (1999), "Life Cycle Cost Analysis Handbook: Draft. State of Alaska", Department of Education and Early Development, Education Support Services/Facilities, pp. 2-15.