

아시아 지역 EDCF 사업의 가요성포장 설계 계수 적용방안

A Method for Customizing Flexible Pavement Design Parameters for EDCF-Funded Projects in Asia

심 차 상 Shim, Cha-Sang | 정회원 · 인하대학교 공과대학 토목공학과 박사과정 · 한국수출입은행 선임기술역 · 교신저자
(E-mail : csshim@koreaexim.go.kr)
조 윤 호 Cho, Yoon-Ho | 정회원 · 중앙대학교 공과대학 사회기반시스템공학부 교수 (E-mail : yhcho@cau.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : One of the main components of road projects funded by the Economic Development Cooperation Fund (EDCF) is the improvement or rehabilitation of existing pavements. The result is that pavement structures are critical to the success of a project. There is, however, no design standard available at present that reflects a region's specific features including climate conditions and quality of pavement materials. For this reason, a comparative study of the major EDCF borrowers' flexible pavement design standards was conducted. This study led to the proposal of a new method for applying flexible pavement designs which can be used for EDCF-funded projects in Asia.

METHODS : The method has been produced by adjusting some input data of the "AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures" in accordance with certain Asian countries' geometrical features, tropical and subtropical weather, and strength of pavement materials. The Philippine regional factors, having five different grades, have been selected after taking into consideration the amount of rainfall, strength of pavement materials, and characteristics of the Asia and Pacific regions. Structural layer coefficients have been prepared for two different regions according to the geometric difference between Southeast and Southwest Asia. The Philippine and Sri Lankan coefficients have been used for Southeast Asia and Southwest Asia, respectively.

CONCLUSIONS : Owing to applying this new method, it was verified that the thickness of the pavement was underestimated by between 11 cm and 16 cm compared with the originally designed thickness. Having discovered that the use of the Korean and American-oriented factors and coefficients is not appropriate for other Asian countries, the new method is expected to enhance the quality of pavement in future projects.

Keywords

Economic Development Cooperation Fund (EDCF), Regional Factors, Structural Layer Coefficients

Corresponding Author : Shim, Cha-Sang, Senior Transport Specialist
EDCF Operations Services Department, The Export-Import Bank of
Korea, 38 Eunhaeng-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul, 07242, Korea
Tel : +82.2.3779.6782 Fax : +82.2.3779.6774
E-mail : csshim@koreaexim.go.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Apr. 17, 2017 Revised Aug. 29, 2017 Accepted Aug. 29, 2017

1. 서론

1.1. 논문개요

아시아 주요 EDCF 수원국의 가요성포장 설계기준을

살펴보고, 실제 사업에 적용된 포장설계 현황 및 문제점을 바탕으로 아시아 지역 EDCF 사업에 사용할 수 있는 가요성포장 설계 적용방안을 제안하였다. 새로운 설계

적용방안은 우리나라를 비롯하여 아시아 개발도상국에서 널리 사용되었던 'AASHTO '72년 잠정지침'을 준용하되, 열대 및 아열대의 기후적 특성, 골재의 품질이 우리나라와 미국에 비해 상대적으로 낮은 지형적 특성을 고려하였다. 지역계수는 강우량, 재료의 특성, 사업 실시지역의 특성 등을 반영하여 5단계로 구분한 필리핀의 기준이 아시아 지역을 대표할 수 있어 사용하고, 상대강도계수의 경우 우수 골재 확보 가능성을 지형적 특성을 고려하여 동남아시아와 서남아시아로 구분하되, 각각의 지역을 대표하는 필리핀과 스리랑카에서 자체적으로 작성한 값을 적용하였다. 새로운 설계 적용방안을 사용하여 동남아시아 2개국과 서남아시아 2개국의 도로 사업에 대하여 기존의 설계 포장두께와 비교한 결과, 동남아시아는 약 16cm, 서남아시아는 약 11cm의 포장두께 증가를 가져왔다. 이와 같은 결과는 그동안 우리나라 및 미국의 특성에 맞는 지역계수와 상대강도계수를 여과 없이 아시아 지역에 적용한 것에 기인한다.

2. 연구배경 및 범위

2.1. 연구의 배경 및 목적

대외경제협력기금(Economic Development Cooperation Fund, EDCF)은 공적개발원조(Official Development Assistance, ODA) 중에서 개발도상국의 경제발전과 주민의 복지를 증진하고 우리나라와 이들 국가와의 경제협력관계를 증진하기 위하여 한국수출입은행이 기획재정부로부터 수탁받아 관리하는 양허성차관(Concessional Loan)이다. EDCF 지원규모는 '16년 말 기준 전 세계 53개국, 375개 사업에 15조 2천억 원을 승인하였고, 분야별로는 도로를 포함한 교통 분야의 비중이 37.3%로 가장 높으며 지역별로는 아시아 54.5%, 아프리카 35.3%, 중남미 9.7% 등의 순이다. 특히 우리나라는 '09년 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)의 개발원조위원회(Development Assistance Committee, DAC)에 가입한 이후 2015년까지 ODA 규모를 국민총소득 대비 0.25% 수준까지 확대하는 계획을 수립하는 등 지속적으로 대외 원조 규모를 증가할 예정이다. 지원 비중이 가장 높은 교통 분야의 경우 기존의 비포장도로 개보수사업이 주종을 이루고 있어 포장의 설계 및 시공이 사업의 성패를 좌우하는 중요한 요소임에도 불구하고, 해당국가의 설계기준 부재 및 한국 업체만이 사업에 참여할 수 있는 구속성차관의 특성상 국내의 설계기준을 여과 없이 적용하는 것이 현실이다. 이

와 같이 기후, 재료 등의 조건이 상이한 아시아 지역 국가에 우리나라 및 미국의 환경에 맞게 마련된 설계입력 변수를 무분별하게 사용하는 경우 포장구조의 파손에 따른 원조의 지속가능성(Sustainability) 및 효과성(Effectiveness) 저하를 야기할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 열대 및 아열대 기후와 재료 특성상 양질의 골재를 확보하기 어려운 아시아 주요 EDCF 수원국(Borrower)에 공통적으로 사용할 수 있는 설계 적용방안(이하 '설계 적용방안')을 제안하여 품질향상에 기여하고자 한다.



(a) NR-48, Cambodia



(b) N-45, Pakistan

Fig. 1 Damaged Pavements

2.2. 연구의 범위

필리핀, 캄보디아, 라오스, 스리랑카 등 대표적인 아시아 EDCF 수원국의 가요성포장 설계기준을 알아보고, EDCF로 지원된 아시아 6개국의 21개 도로 사업에 실제로 적용된 포장설계법과 층별 두께를 조사해본다. 이와 같은 조사를 통해 EDCF 사업에 적용하고 있는 가요성포장 설계법의 문제점을 살펴보고, 이를 보완할 수 있는 '설계 적용방안'을 제안하여 동남아시아 및 서남아시아 각각 2개국의 사업에 실제로 적용하여 포장 두께를 계산해보고 당초 설계에 반영한 결과와 비교해 본다.

3. 아시아 주요 개도국의 가요성포장 설계기준

3.1. 필리핀의 가요성 포장 설계기준

3.1.1. 개요

필리핀의 가요성포장 설계는 'AASHTO '72년 잠정 지침'을 준용하되 자국의 기후와 재료특성을 반영하여 자체적으로 작성된 "AASHTO Interim Guide Method"방법과 누적축하중 통과횟수, 층별 두께 및 건조-습윤 골재기층 등의 차트를 이용하는 "Road Note 29 Method"가 있으나 대부분 "AASHTO Interim Guide Method"를 준용한 "Design Guidelines Criteria and Standards for Public works and Highways, Volume II, 1983"을 사용하고 있다. 이와 같이 필리핀의 설계기준은 AASHTO 설계법을 준용함에 따라 설계절차는 동일하나 일부 설계입력변수에서 차이가 있으므로 설계절차의 기술은 생략한다.

3.1.2. 설계입력변수

가) 공용기간

필리핀의 공용기간은 한국과 마찬가지로 강성포장은 공용개시 후 20년, 가요성포장은 10년을 적용한다.

나) 교통하중 및 설계교통량

필리핀의 교통하중은 교통량이 포장구조에 미치는 영향을 차종별로 구분하고 있으며, 특히 자가용(Private car)의 경우 도로포장 구조손상에 중요하게 작용하지 않는다고 가정하고 상용차(Commercial vehicles) 대수와 축하중만을 대상으로 한다. 총 교통량은 등가 80KN 단축하중으로 변환하여 적용하고, 설계교통량 및 등가 단축하중으로 환산은 아래의 식에 따라 계산한다.

- 차종별 설계교통량 :

$$Design\ Traffic = P_i \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] 365$$

where, P_i = 연평균일교통량(Annual Average Daily Traffic)

i = 교통증가율(Traffic Growth Rate)

N = 공용기간(Design Life Period)

- 차종별 등가단축하중계수 :

$$EF = \sum \left[\frac{axleload(tons)}{8.2} \right]^4$$

- 누적등가단축하중 :

$$CESAL = (DesignTraffic \times D_D \times D_L) EF$$

다) 서비스지수

설계서비스지수는 공용성등급으로 표시되며 최대 5에서 최저 0의 범위이고 최종서비스지수의 선택은 도로포장이 덧씌우거나 재포장이 필요하기 전에 견딜 수 있는 최저 서비스지수에 근거한다. 최종서비스지수는 주요 고속도로의 경우 2.5, 교통량이 적은 고속도로는 2.0을 적용한다. 포장 초기의 서비스지수는 한국과 마찬가지로 4.2를 적용하며, 필리핀에서 적용하는 최종서비스지수는 Table 1과 같다.

Table 1. Terminal Serviceability Index (TSI)

Road type	TSI
Low traffic gravel roads	1.5
Relatively minor highways	below 2.0
More than 5% traffic increased or phased construction	2.0
First class highways with traffic speed up to 80km/h	2.5

라) 지역계수

지역계수는 필리핀 현지의 기후 및 환경조건을 고려하여 다음과 같이 구분하여 사용하고 있다.

Table 2. Regional Factor (Rf)

Roadbed condition	Rf
Average yearly rainfall is less than 900mm	1.0
Soil with porosity of more than 10^{-5} m/s	1.0
General condition with sufficient drainage	1.5-2.0
Insufficient drainage due to terrain condition or it does not function in flood season	2.5-3.5
Swampy area where the soil surface/subgrade is wet	4.0-5.0

마) 상대강도계수

필리핀에서 사용하는 상대강도계수는 AASHTO에서 제시한 상대강도계수를 기본으로 하되 필리핀의 재료조건에 맞게 다음과 같이 수정하여 사용하고 있으며 가요성포장과 관련된 계수들만 살펴보면 Table 3과 같다.

Table 3. Layer Coefficient (Lc)

Layer	Material	Condition	Lc
Surface (a1)	Asphalt concrete	Good condition	0.38
		Fair condition	0.2 0.3
		Bad condition	0.15
Base (a2)	Crushed gravel	-	0.15
	Broken stone	-	0.14
Subbase (a3)	Granular material	Passing specifications	0.11
		Poorly graded	0.07

3.2. 캄보디아, 라오스, 스리랑카의 가요성 포장 설계기준

3.2.1. 개요

캄보디아, 라오스, 스리랑카의 경우, 교통량과 노상지 지력의 함수에 따라 통계적, 경험적으로 표준화된 단면을 사용하는 카탈로그(Catalog) 설계법을 사용하고 있다. 카탈로그 설계법을 적용하는 국가들은 교통량 산정 기준, 표준단면 등에서 약간의 차이는 있지만 설계법의 개념은 동일하므로 본 연구에서는 캄보디아 기준 (Ministry of Public Works and Transport, 「Road Design Standard, Part2. Pavement, 2003」)을 대표적으로 살펴본다.

3.2.2. 설계기준

가) 공용기간

가요성포장의 공용기간은 신설 입상골재 포장인 경우 20년에서 25년, 아스팔트 덧씌우기는 10년에서 15년, 입상재 덧씌우기는 10년에서 20년으로 규정하고 있다.

나) 교통하중 및 설계교통량

캄보디아의 설계기준에서 제시하고 있는 차축은 단륜이 장착된 단축, 복륜이 장착된 단축, 복륜이 장착된 복축, 복륜이 장착된 삼축 등 4가지 형식으로 구분하고 있으며, 포장체에 동일한 피해를 발생시키는 축 하중을 다음과 같이 구분하고 있다.

Table 4. Axle Loads which Cause Equal Damage

Axles configuration	Single Single	Single Dual	Tandem Dual	Tri-axle Dual
Load(KN)	53	80	135	181

표준 차축은 우리나라와 마찬가지로 8.2ton이며, 복륜이 장착된 단축으로 정의하고 있다. 상기 표에서 제시

된 축 하중 이외의 차축 그룹의 하중은 아래의 등가단축 하중계수를 이용해서 환산하여 사용한다.

- 등가단축하중계수 : (조사차축하중/표준차축하중)^{EXP}

where, EXP : 포장형식에 따라 상이 일반적으로 4 적용

전체 설계기간에 걸친 누가등가단축하중의 경우 첫째의 교통량을 아래 표에 해당되는 누적성장계수 (Cumulative Growth Factor)로 곱해 설계기간 동안의 총 누가등가단축하중을 결정한다.

- 누가등가단축하중 : NE × 365 × GF

where, NE : 차축의 수 × 등가단축하중계수 × 교통량(AADT)

GF : 캄보디아의 경우 4~6%의 증가율 적용

Table 5. Cumulative Growth Factor

Design period (year)	Growth rate (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5.2	5.4	5.6	5.9	6.1
10	10	10.9	12.0	13.2	14.5	15.9
15	15	17.3	20.0	23.3	27.2	31.8
20	20	24.3	29.8	36.8	45.8	57.3
25	25	32.0	41.6	54.9	73.1	98.3
30	30	40.6	56.1	79.1	113.3	164.5
35	35	50.0	73.7	111.4	172.3	271.0
40	40	60.4	95.0	154.8	259.1	442.6

다) 교통등급 및 노상지지력등급의 결정

누가등가단축하중 산정결과를 이용한 교통등급은 다음의 표에 주어진 교통량에 따라 결정한다.

Table 6. Traffic Level based on Cumulative Equivalent Single Axle Load

Traffic(×10 ⁶ Equivalent standard axles)	Traffic level
< 0.3	T1
0.3 - 0.7	T2
0.7 - 1.5	T3
1.5 - 3.0	T4
3.0 - 6.0	T5
6.0 - 10.0	T6
10.0 - 17.0	T7
17.0 - 30.0	T8

이와 함께 해당 노선의 노상 CBR값을 조사하여 노상 지지력등급을 S1부터 S6까지 6단계로 구분한다.

Table 7. Soil Support Value(SSV) based on California Bearing Ratio

California bearing ratio	SSV
below 2.0	S1
3.0 - 4.0	S2
5.0 - 7.0	S3
8.0 - 14.0	S4
15.0 - 29.0	S5
above 30.0	S6

라) 포장 단면 및 두께 결정

카탈로그 설계법의 포장 단면 및 두께의 결정은 교통 등급과 노상지력등급에 따라 아래의 8개 표준 포장구조 중에서 결정한다.

Table 8. Standard Catalog Pavement Structures

Classification	Pavement structure
Chart 1	Granular Roadbed / Surface Dressing
Chart 2	Mixed Roadbed (Unbound & Cement) / Surface Dressing
Chart 3	Granular Roadbed / Semi-Structural Surface
Chart 4	Mixed Roadbed / Semi-Structural Surface
Chart 5	Granular Roadbed / Structural Surface
Chart 6	Mixed Roadbed / Structural Surface
Chart 7	Bituminous Roadbed / Semi-Structural Surface
Chart 8	Cement Roadbed / Surface Dressing

3.3. 기타 아시아 국가의 가요성포장 설계기준

3.3.1. 베트남

베트남은 AASHTO 설계법을 이용한 설계법(Ministry of Transport, 「Specification for the Design of Flexible Pavements, 22TCN-274-01, 2003)과 포장 층을 단일부재로 환산하여 처짐, 휨모멘트, 전단력 및 미끄럼저항 등을 검토하여 허용값 이하가 되도록 설계하는 강도설계법(Ministry of Transport, 「Specification for the Design of Flexible Pavements, 22TCN-211-06, 2003)을 자체적으로 수립하여 사용하고 있으며, EDCF로 지원된 사업을 비롯하여 대부분의 사업이 강도설계법을 적용하여 포장두께를 계산한다.

3.3.2. 파키스탄

파키스탄의 경우 자체 설계기준이 없으며, 아시아개발은행, 세계은행 등에서 지원하는 원조사업의 경우 미국의 'AASHTO '72년 잠정지침' 또는 '86년 기준을 사용하고 있으며 EDCF로 지원된 '말라칸트 터널건설사업'의 경우에도 'AASHTO '72년 잠정지침'을 적용하였다.

3.3.3. 인도네시아

인도네시아의 경우 AASHTO 설계법을 근간으로 하되, 강우량과 중차량비중에 따라 구분한 지역계수, 포장 두께지수(Pavement Thickness Index, PTI) 등을 이용한 자체기준(Ministry of Settlements and Regional Infrastructure, 「Indonesian Road Design Manual, 2001)을 사용한다.

4. EDCF 사업의 설계 적용현황 및 문제점

4.1. 설계 적용현황

EDCF로 지원된 도로사업의 포장형식을 살펴보면 대부분이 가요성포장을 적용하였으며, 가요성포장 중에서도 아스팔트콘크리트 포장이 주를 이룬다. 아시아 주요 EDCF 수원국 6개국에 지원된 도로사업의 포장현황을 살펴보면 다음과 같다.

Table 9. List of EDCF-funded Road Projects in Asia

	Country project title	Length(km) /Width(m)	Pave type	Pavement layers	Method
C A M B O D I A	GMS Northwest NR-48	84/11	DBST	Surface: DBST 21mm Base: 200mm Subbase: 200-250mm	Catalog
	Rural Road Improvements	210/6.5-7.5	DBST	Surface: DBST 21mm Base: 150-200mm Subbase: 150-200mm	Catalog
	NR-21	63.5/21.0	AC	Surface: 5cm Base: 10cm Subbase: 10cm	AASHTO'86
	NR-2 & NR-22	72.2/13.0	AC	Surface: 7cm Base: 22cm Subbase: 22cm	AASHTO'72
	NR-48	150.0/11.0	AC	Surface: 7cm Base: 21cm Subbase: 20cm	AASHTO'72
P H I L I P P I N E S	GSO Phase 1	18/11.7~20.0	AC	Surface: 10cm Asphalt Base: 10cm Base: 200-250mm Subbase: 450mm	AASHTO'72
	GSO Phase 2	19.7/11.7-20.0	AC	Surface: 10cm Asphalt Base: 100mm Subbase: 450mm	AASHTO'72
	Samar Road	27.8/8.0	PCC	Slab: 20cm Subbase: 100m	AASHTO'86
	Aurora Road	39.6/8.1	PCC	Slab: 23cm Subbase: 300mm	AASHTO'72
Paki stan	Malakand Tunnel	9.7/21.6	AC	Surface: 5cm Asphalt Base: 20cm Subbase: 40mm	AASHTO'72

(Table. Continued)

Country project title		Length(km) /Width(m)	Pave type	Pavement layers	Method
L A O S	Northern GMS Road	59.1/9.0	DBST	DBST: 21mm Base: 200mm Subbase: 125-275mm	Catalog
	SEA Game Access Road	4.5/21.2	AC	Surface: 5cm Middle Layer: 5cm Asphalt Base: 15cm Subbase: 20cm	AASHTO'72
S R I L A N K A	Katunayake -Padeniya	71.1/14.0	AC	Surface: 5cm Asphalt Base: 10cm Base: 250mm Subbase: 275mm	AASHTO'72
	Anura D. -Padeniya	80.8/14.0	AC	Surface: 4cm Asphalt Base: 45-70mm Subbase: 150-250mm	AASHTO'72
	Hatton-Nuwara E.	46.8/8.0	AC	Surface: 5cm Asphalt Base: 10cm Subbase: 350mm	AASHTO'72
V I E T N A M	Rach Gia Bypass	20.3/12.0	DBST	DBST: 21mm Base: 150mm Subbase: 300mm	Internal G.L. (22TCN 211-06)
	Lo Te-Rach Soi	59.0/12.0	TBST	TBST: 35mm 1 st Aggregate: 250mm 2 nd Aggregate: 300mm	Internal G.L. (22TCN 211-06)
	Thanh Hoa City Ring Road	21.9/12~15	AC	Surface: 5mm Asphalt Base: 7mm 1 st Aggregate: 300mm 2 nd Aggregate: 360mm	Internal G.L. (22TCN 211-06)
	Vinh Thinh Bridge	5.5/17.5	AC	Surface: 6cm Asphalt Base: 7cm Base: 180mm Subbase: 320mm	Internal G.L. (22TCN 211-06)
I N D O N E S I A	Padang Bypass	22.0/40.0	AC	Surface: 4cm Middle Layer: 6cm Asphalt Base: 7.5cm Base: 200mm Subbase: 350mm	Internal G.L. (Indonesian Road Design Manual)
	Manado Bypass Phase 2	7.7/15.0	AC	Surface: 5cm Asphalt Base: 7cm Base: 250mm Subbase: 350mm	Internal G.L. (Indonesian Road Design Manual)

이와 같이 EDCF로 지원된 6개국, 21건의 도로사업에 대한 포장형식을 살펴보면, 필리핀의 2개 사업을 제외한 나머지 19개 사업에서 가요성포장을 사용하였으며, 가요성포장 중에서 아스팔트콘크리트 포장이 14건으로 70% 이상을 차지하고 있다. 아스팔트콘크리트 포장을 적용한 사업 중에서 인도네시아와 베트남과 같이 자체 설계기준을 사용한 경우를 제외하면 전체 12건 중에서 10건이 한국의 설계입력변수를 사용한 'AASHTO '72년 잠정치침' 을 적용하였다.

4.2. 설계 적용의 문제점

살펴본 바와 같이 EDCF로 지원된 도로사업의 가요성포장 설계는 'AASHTO '72년 잠정치침' 을 적용하되 설계입력변수는 한국의 실정에 맞게 수정된 값을 사용하였다. 그 이유는 대상 수원국의 가요성포장 설계기준이 별도로 없거나 또는 한국기술자들에게 익숙하지 않은 카탈로그 설계법이 주를 이루고 그 내용 또한 포장두께 산정에 관한 내용보다 재료 시방기준 등에 집중적으로 기술되어 있어 실무에 적용할 경우 어려움이 많기 때문이다. 또한 설계와 시공을 관리하고 감독하는 수원국의 공무원들도 세부적인 설계입력변수 등에 대한 이해가 부족한 상태에서 세계적으로 보편화 되어 있고, 막연히 선진국의 기준이라는 이유만으로 별다른 대안을 제시하지 못하고 있는 실정이다. 그러나 EDCF 사업에 실제 적용된 설계기준은 한국과 미국의 환경에 맞도록 마련된 기준으로서, 이를 기후와 포장 재료의 특성이 다른 수원국에 그대로 적용하는 것은 현실과 맞지 않을 결과를 가져올 수 있다.

5. 아시아지역 EDCF 사업의 가요성포장 설계 적용방안

5.1. 설계 적용방안 개요

필리핀, 베트남, 인도네시아 등과 같이 자체적으로 체계적인 가요성포장 설계기준을 가지고 있지 않은 대부분의 아시아 지역 EDCF 수원국의 경우, 'AASHTO '72년 잠정치침' 을 적용하되, 한국의 설계입력변수를 사용하고 있다. 이에 따라 기후와 재료특성이 비교적 유사한 아시아 지역에 공통적으로 사용할 수 있는 설계입력변수가 필요하다. 본 연구에서 제안하는 '설계 적용방안' 은 오랜 기간 동안 전 세계적으로 사용되어 설계경험이 풍부하고 그 실효성이 검증된 'AASHTO '72 잠정치침' 을 따르되, 아시아 지역의 기후와 재료특성이 반영된 설계입력변수를 마련하는 것이다. 'AASHTO '72 잠정치침' 을 적용하기 위해 필요한 설계입력변수 중에서 설계교통량, 등가단축하중, 노상지지력, 서비스지수 등의 경우에는 현장실험 및 조사를 통하여 구해지는 항목이거나 정책적인 결정에 따라 적용하는 값이므로 아시아 지역 국가에 적용하기 위해 별도의 고려가 필요 없는 것으로 판단된다. 그러나 지역계수 및 포장층별 상대강도계수의 경우 한국에서 사용하는 값을 남부 아시아 지역에 그대로 적용할 수 없으므로 가장 합리적인 입력변수의 도출이 필요하다.

5.1.1. 지역계수 적용방안

대부분의 아시아 지역 EDCF 수원국은 고온다습한 열대 또는 아열대성 기후로 건기와 우기가 뚜렷한 기후특징을 보인다. 현재 적용하고 있는 한국의 지역계수는 단순히 한국의 위도 및 표고에 따라 구분되어 아시아 지역에 적용하기에는 현실적으로 맞지 않다. 이에 반해 필리핀의 지역계수는 강우량과 노상의 배수성을 고려하여 분류하고 있는 바, 이는 노상토의 계절별 습윤 및 건조 상태를 기준으로 적용하는 AASHTO 기준과 유사한 분류기준을 보이는 한편 남아시아 지역의 특성을 대표하는 것으로 볼 수 있으므로 필리핀의 지역계수를 사용하기로 한다.

5.1.2. 상대강도계수 적용방안

포장층의 재료조건을 반영하는 상대강도계수는 각 포장층별 탄성계수, CBR값 등을 바탕으로 결정된다. 필리핀과 스리랑카의 상대강도계수는 기본적으로 AASHTO 값을 준용하되, 해당국의 골재특성을 고려하여 하향조정된 특성을 보이고 있다. 이는 강도가 좋은 골재 확보 가능 여부, 다짐 및 포설장비의 성능, 숙련된 인부 및 시공경험 등 아시아 지역 EDCF 수원국의 특징을 고려할 때 합리적인 값으로 판단된다.

Table 10 및 11에서 살펴본 바와 같이 필리핀과 스리랑카의 상대강도계수는 AASHTO 기준보다 하향조정되었지만, 필리핀이 스리랑카에 비해 상대적으로 상대강도계수가 낮다. 그 이유는 필리핀, 캄보디아, 라오스 등과 같이 동남아시아의 경우 습지와 평야가 많아 석산개발이 용이치 않고 골재의 품질이 낮은 반면 스리랑카를 비롯하여 파키스탄 등 서남아시아 국가들은 상대적으로 산악지형이 많고 품질이 우수한 골재 확보가 용이하기 때문으로 사료된다. 이에 따라 아시아 지역을 동남아시아와 서남아시아로 구분하여 동남아시아 국가의 경우 지형조건이 유사한 필리핀의 기준을 적용하고 서남아시아의 경우 스리랑카 기준을 적용하고자 한다.

Table 10. Proposed Layer Coefficient (Southeast Asia)

Layer	Material	Condition	Lc
Surface (a1)	Asphalt concrete	Good condition	0.15
		Fair condition	0.08-0.12
		Bad condition	0.06
Base (a2)	Crushed gravel	-	0.06
	Broken stone	-	0.056
Subbase (a3)	Granular material	Passing specifications	0.044
		Poorly graded	0.028

Table 11. Proposed Layer Coefficient (Southwest Asia)

Layer	Material	Condition	Lc
Surface (a1)	Asphalt concrete	Stable condition	0.157
		Hot mixed AC	0.138-0.157
		Bituminous treated surface	0.118
Base (a2)	Asphalt concrete	Mixed bituminous AC	0.118
		Granular material	Mixed bituminous aggregate
	Dense graded crushed stone		0.055
	Unified aggregate		0.05
Subbase (a3)	Granular material	Granular material (CBR 80)	0.048
		CBR 30	0.044
		CBR 20	0.038

5.1.3. 포장층 최소두께 적용방안

포설장비의 1회 시공성을 고려한 포장층별 포설 최소 두께 기준은 지역에 상관없이 동일한 기준을 적용할 수 있다. 일반적으로 한국기준은 적용 아스팔트 혼합물 공칭 최대크기의 2.5배 이상을 1층 포설 최소 두께로 규정하고 있고, AASHTO의 경우에는 포장층별 포설 최소 두께를 등가교통하중 범위별로 구분하고 있다. 즉, 한국은 포장층 재료별로 구분하고 있고, AASHTO의 경우 등가단축하중에 따라 아스팔트와 입상골재재료의 최소 두께가 규정되어 있는 바, 본 '설계 적용방안'에서는 포장층 식별이 용이한 한국기준을 적용하기로 한다.

Table 12. Proposed Minimum Layer Thickness

Classification		Thickness (cm)
Surface	Asphalt concrete	5
Base course	Asphalt treated(upper subbase)	5
	Asphalt concrete	10
Subbase course	Granular material	15
	Lean concrete	15
	Crushed stone (Placed upper sand/aggregate)	15
	Crushed stone (Placed upper selected middle layer)	20
	Random sand/Aggregate	20
	Slag	20
	Cement or treated soil	20

5.1.4. 설계적용 방안 요약

'설계 적용방안'을 요약하면, 기본적으로 'AASHTO

'72년 잠정지침'을 사용하되 지역계수는 강우량, 토질 특성 등에 따라 5가지로 구분한 필리핀의 기준을 적용하고, 상대강도계수의 경우 동남아시아와 서남아시아의 전반적인 지형여건을 고려하여 각각의 대표성을 가진 필리핀과 스리랑카의 상대강도계수를 적용한다.

Table 13. Proposed Key Flexible Pavement Design Parameters

Parameter	Parameters	Source
ESAL	8.2ton	Korean Standards/AASHTO
Directional factor	Measured or 0.5	Measured or K.S./AASHTO
Lane factor	50~100	Korean Standards/AASHTO
Terminal SI	2.5	Korean Standards/AASHTO
Initial SI	4.2	Korean Standards/AASHTO
SSV	$SSV=3.8 \times \log_{10} CBR+1.3$	Korean Standards/AASHTO
Rf	1.0~5.0	Philippine Standards
Lc	0.028~0.150	Southeast Asia: Philippines
	0.038~0.157	Southwest Asia: Sri Lanka
Minimum layer thickness	Surface	5cm
	Base	15cm
	Subbase	20cm
		Korean Standards

5.2. 설계 적용방안에 따른 포장두께 재산정

EDCF로 지원한 아시아 주요 4개 국가의 도로사업을 동남아시아와 서남아시아로 구분하여 새로운 '설계 적용방안'으로 포장두께를 재산정하고, 실제 설계에 적용된 포장두께와 차이점을 살펴보고자 한다.

5.2.1. 캄보디아 48번국도 개보수사업

가) 새로운 설계입력변수 적용

지역계수의 경우 당초 설계 시 조사한 내용은 해당 지역이 연평균 기온 20℃ 이상으로 동결피해가 없고 우기 시 국지성호우를 제외하고는 건조한 상태를 유지하는 것으로 조사되었으나, 한국기준에는 동일한 지역조건에 해당하는 계수 값이 없어 대전이남 지역으로 분류하여 지역계수 1.5를 적용하였다. 그러나 필리핀 기준을 적용할 경우 "충분한 배수성을 지닌 일반적인 경우"로 분류가 가능하여 2.0을 적용하였다. 상대강도계수의 경우에도 당초 설계에는 한국의 값을 적용하여 0.051부터 0.157을 사용하였으나, 필리핀에서 제시한 상대강도계수 값을 적용하여 0.044에서 0.12를 입력변수로 사용하였다. 당초 설계에서 사용한 설계입력변수와 본 연구에서 제안한 '설계 적용방안'에 필요한 새로운 설계입력변수를 비교하면 다음과 같다.

Table 14. Comparison between Existing & Proposed Parameters

Parameter	Existing	Proposed
ESAL	8.2ton	8.2ton
Directional factor	0.59	0.59
Lane factor	1.0(Single lane)	1.0(Single lane)
Rf	1.5	2.0
Terminal SI	2.5	2.5
Initial SI	4.2	4.2
SSV	$SSV=3.8 \log_{10} CBR+1.3$	$SSV=3.8 \log_{10} CBR+1.3$
Lc	Surface: 0.157 Base: 0.055 Subbase: 0.051	Surface: 0.12 Base: 0.06 Subbase: 0.044

나) SN 산정 및 포장두께 산정결과

당초 설계에서 계산한 소요 SN과 새로운 설계입력변수를 사용하여 계산한 소요 SN값은 각각 아래와 같다.

Table 15. Required SN When the Existing Method is Used

Year	W8.2	log(W8.2)	SN2	SN3
2027	1.277×10^6	6.089	1,994	3,254
2037	3.184×10^6	6.503	2,341	3,802

Table 16. Required SN When the Proposed Method is Used

Year	W8.2	log(W8.2)	SN2	SN3
2027	1.277×10^6	6.086	2,092	3,410
2037	3.184×10^6	6.500	2,454	3,976

당초 설계에 적용한 포장단면과 '설계 적용방안'으로 계산된 최종 포장두께는 다음과 같다.

Table 17. Pavement Design Results When the Existing Method is Used

Year	Layer	Lc	Needed SN	D (cm)	Design SN	Remark
2027	Surface	0.157	-	7.0	$7\text{cm} \times 0.157 = 1.099$	
	Base	0.055	1,994	21.0	$1.099 + 21\text{cm} \times 0.055 = 2.254$	
	Subbase	0.051	3,254	20.0	$2.254 + 20\text{cm} \times 0.051 = 3.274$	
	Total	-	3,254	48.0	3,274	O.K
2037	Overlay	0.157	-	5.0	$5\text{cm} \times 0.157 = 0.785$	
	Surface	0.157	-	7.0	$0.785 + 7\text{cm} \times 0.157 \times 85\% = 1.719$	85% Reliability
	Base	0.055	2,341	21.0	$1.719 + 21\text{cm} \times 0.055 = 2.874$	
	Subbase	0.051	3,802	20.0	$2.874 + 20\text{cm} \times 0.051 = 3.894$	
	Total	-	3,802	53.0	3,894	O.K

Table 18. Pavement Design Results When the Proposed Method is Used

Year	Layer	Lc	Needed SN	D (cm)	Design SN	Remark
2027	Surface	0.12	-	7.0	$7\text{cm} \times 0.12 = 0.84$	AC
	Base	0.06	2,092	25.0	$0.84 + 25\text{cm} \times 0.06 = 2.34$	Granular
	Subbase	0.044	3,410	34.0	$2.34 + 34\text{cm} \times 0.044 = 3.836$	Granular
	Total	-	3,410	66.0	$3.836 > 3.410$	O.K
2037	Overlay	0.12	-	5.0	$5\text{cm} \times 0.12 = 0.6$	
	Surface	0.12	-	7.0	$0.6 + 7\text{cm} \times 0.12 \times 85\% = 1.314$	85% Reliability
	Base	0.06	2,454	25.0	$1.314 + 25\text{cm} \times 0.06 = 2.814$	
	Subbase	0.044	3,976	34.0	$2.814 + 34\text{cm} \times 0.044 = 4.310$	
	Total	-	3,976	71.0	$4.310 > 3.976$	O.K

포장두께 산정결과 기존 타당성조사 결과보다 전체 포장두께가 18cm 증가되는 것으로 분석되었고, 층별 포장두께 계산결과는 다음과 같다.

Table 19. Comparison between Existing & Proposed Thickness-1

Layer	Existing(cm)	Proposed(cm)
Surface	7	7
Base	21	25
Subbase	20	34
Total	48	66

5.2.2. 라오스 SEA Game 주경기장 진입도로 건설사업

사업대상 지역인 라오스 수도 비엔티엔 북부는 평지와 완만한 구릉지로 구성되어 있으며, 연평균 강우량이 약 1,500mm~1,700mm 수준으로 지대가 낮은 메콩강 유역으로 배수가 원활하다. 이와 같은 지역특성을 고려하여 지역계수 2.0을 적용하고, 상대강도계수는 0.044에서 0.12까지 적용하여 포장두께를 재산정한 결과 당초 설계 적용한 두께보다 15cm 증가하였으며, 층별 포장두께 계산결과는 다음과 같다.

Table 20. Comparison between Existing & Proposed Thickness-2

Layer	Existing(cm)	Proposed(cm)
Surface	5	5
Middle	5	5
Base	15	21
Subbase	20	29
Total	45	60

5.2.3. 스리랑카 카투나야케-파데니아간 도로 건설사업

사업대상 지역인 스리랑카 카투나야케 및 파데니아 지역은 연평균 강우량이 최대 5,000mm까지 이르는 남서부 습지대로 정상적인 배수기능을 다하지 못하는 것으로 분류하여 지역계수의 경우 2.5를 적용하고 상대강도계수는 0.044에서 0.157까지 적용하여 포장두께를 재산정 하였다.

Table 21. Comparison between Existing & Proposed Thickness-3

Layer	Existing(cm)	Proposed(cm)
Surface	5	5
Middle	10	15
Base	25	26
Subbase	27.5	34
Total	67.5	80

5.2.4. 파키스탄 말라칸트 터널 건설사업

사업대상 지역은 파키스탄 북서부에 위치하며 연평균 강우량이 1,500mm 이하로 강우량이 많지 않은 산악지역이므로 지역계수 1.5를 적용하고, 상대강도계수는 스리랑카에서 제시한 값에 의거 0.044에서 0.157까지 적용하였다. 이와 같이 새로운 '설계 적용방안'을 사용하여 포장두께를 재산정한 결과 아래와 같이 10cm의 포장두께 증가가 필요한 것으로 나타났다.

Table 22. Comparison between Existing & Proposed Thickness-4

Layer	Existing(cm)	Proposed(cm)
Surface	5	5
Base	20	22
Subbase	25	33
Total	50	60

6. 결론 및 향후 연구과제

6.1. 결론

동남아시아의 대표적 EDCF 수원국인 캄보디아와 라오스를 비롯하여 서남아시아로 분류될 수 있는 스리랑카와 파키스탄의 EDCF 사업에 대하여 본 연구에서 제안한 '설계 적용방안'을 사용하여 포장두께를 재산정하고, 당초 설계에 적용한 결과와 비교해 보았다. 그 결과 4개국 모두 재산정한 포장두께가 당초 설계에 반영한 두께보다 두꺼웠으며 입력변수별 분석결과는 다음과 같다. 지역계수의 경우 AASHTO 기준을 적용하려면 노

상의 상태를 구체적으로 분석해야 하지만 조사 및 설계 단계에서 정확한 분석 및 적용이 현실적으로 어려워 위도 및 표고에 따라 분류되는 한국기준을 지금까지 사용해 왔다. 그러나 한국기준은 그 범위가 작고 대상국 특성을 반영하기에 어려움이 있어 '설계 적용방안'에서는 강우량과 노상의 배수성을 고려하여 5단계로 구분한 새로운 입력변수를 사용하였으며, 그 결과 소요SN이 증가하여 전체 포장두께의 증가를 가져왔다. 동일한 교통하중 및 노상지력에서 소요SN은 변화가 없으므로 층별 상대강도계수가 작아지면 그만큼 포장두께가 증가하는 결과를 가져오고 반대의 경우에는 감소한다. 동남아시아와 서남아시아로 지역을 크게 구분하여 각각에 적합한 새로운 상대강도계수를 사용해 다시 계산해 본 결과 한국기준으로 적용한 당초보다 포장두께가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Table 23. Summary of Pavement Design Results

Project title (Country)	Layer	Material	Existing (cm)	Proposed (cm)	Result
GMS Northwest NR-48 (Cambodia)	Surface	AC	7	7	
	Base	Granular	21	25	
	Subbase	Granular	20	34	
	Total		48	66	+18cm
SEA GAME Access Road (Laos)	Surface	AC	5	5	
	Middle	AC	5	5	
	Base	Granular	15	21	
	Subbase	Granular	20	29	
Total		45	60	+15cm	
Katunayake-Padeniya (Sri Lanka)	Surface	AC	5	5	
	Middle	AC	10	15	
	Base	Granular	25	26	
	Subbase	Granular	27.5	34	
Total		67.5	80	+12.5cm	
Malakand Tunnel (Pakistan)	Surface	AC	5	5	
	Base	AC	20	22	
	Subbase	Granular	25	33	
	Total		50	60	+10cm

새로운 '설계 적용방안'으로 계산된 결과를 지역별로 살펴보면, 동남아시아 2개국의 경우 당초 설계 적용 포장두께보다 평균 16.5cm 두꺼워졌으며, 서남아시아 2개국의 경우 당초 설계 적용 포장두께보다 평균 11.25cm 두꺼워져 동남아시아보다는 변화폭이 작은 것으로 나타났다. 이와 같이 본 연구에서 제안하는 '설계 적용방안'을 사용할 경우 포장두께가 늘어나 사업비의

증가가 예상된다. 그러나 경제성만을 고려하여 해당국의 특성을 제대로 반영하지 못하는 설계입력변수를 사용할 경우 포장두께 감소에 따른 포장파손의 결과를 가져올 수 있다. 이와 같이 한국에 비해 상대적으로 높은 지역계수와 낮은 상대강도계수의 사용에 따른 포장두께의 증가가 불가피하다면 단순하게 포장두께를 두껍게 하는 방법 이외에 아스팔트 및 입상재료 품질기준을 향상시킬 수 있는 근본적인 방안을 마련할 필요도 있는 것으로 사료된다. 또한 아스팔트 및 시멘트 안정처리공법을 적극 활용하여 기층, 보조기층 등의 입상재료층 두께를 최소화할 경우 전체 포장두께의 감소 및 경제성도 확보할 수 있을 것으로 보인다.

6.2. 향후 연구과제

본 연구에서는 가요성포장 설계에 필요한 여러 설계 입력변수 중에서 아시아 지역 주요 EDCF 수원국에 공통적으로 사용이 가능한 지역계수 및 상대강도계수의 변경에 국한하여 제안하였다. 그러나 이들 두 가지 설계입력변수 이외에 포장설계에 중요한 영향을 미치는 표준축하중 및 등가단축하중계수 등도 정확한 체계가 없는 실정이므로 연구가 필요하다. 또한 본 연구에서 제안한 지역계수와 상대강도계수의 경우에도 향후 EDCF 사업의 증가에 따라 보다 다양한 조사 자료를 바탕으로 국가별로 세분화하여 정확도를 높일 필요가 있으며, 과거 시공된 포장의 공용수명, 포장파손 유형 등의 상태평가 데이터를 바탕으로 국가별 보다 세부적인 포장파손 원인 분석과 함께 본 연구에서 제안한 상대강도계수를 실제 적용하여 시공한 후 이에 대한 포장상태에 대한 조사 및 분석도 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (1972). *AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures*.
- Ministry of Public Works and Highways (1983). Bureau of Design "Design Guidelines Criteria and Standards for Public works and Highways, Volume II".
- Ministry of Public Works and Transport (2003). *Road Design Standard, Part2. Pavement*.
- Ministry of Transport (2003). *Specification for the Design of Flexible Pavements, 22TCN-274-01*.
- Ministry of Transport (2003). *Specification for the Design of Flexible Pavements, 22TCN-211-06*.
- Ministry of Settlements and Regional Infrastructure (2001).

Indonesian Road Design Manual,
The Export-Import Bank of Korea (2016.12). *Internal Statistics,*
The Export-Import Bank of Korea (2007.12 ~ 2013.5).
Feasibility study and detailed design reports for EDCF

funded projects,
The Export-Import Bank of Korea (2017.4). *EDCF Annual Report*
2016.