

해외 도로의 연성 포장 덧씌우기 설계 사례

The case of overlay design for abroad asphalt concrete pavement

이재만* · 박진희**

Lee, Jae Man · Park, Jin Why

1. 서론

기존 도로의 연성포장(Flexible Pavement)의 수명을 연장시키기 위한 방법으로 기존 포장의 구조적 평가를 통해 재포장(Rehabilitation)을 하는 경우와 덧씌우기(Overlay)를 하는 경우가 있다. 기존 포장에 덧씌우기를 시행했을 경우, 포장의 처짐(Deflection)이 감소하고 구조적인 강도(Structural Strength)가 증가하는 효과를 얻을 수 있다. 기존포장의 덧씌우기 두께를 결정하기 위한 포장 평가 방법으로는 육안조사 및 재료시험(Visual survey and Material Testing), 비파괴 처짐시험(NDT: Nondestructive Deflection Testing) 등을 들 수 있는데, 그 중에서 비파괴 처짐시험에 근거한 평가로 “스리랑카의 기존도로 Padeniya~Anuradhapura” 구간의 BBD(Benkelman Beam Deflection)조사에 의한 방법과 “아프가니스탄의 기존도로 Pul-e-khumri~Andkhoy” 구간의 FWD(Falling Weighting Deflection)조사에 의한 방법 등 2개 국가에 대한 해외 도로의 연성포장 덧씌우기 설계사례를 소개하고자 한다.

2. 스리랑카 설계사례

2.1 설계개요 및 기존도로 현황

우리나라의 한국국제협력단(KOICA)에서 발주한 해외 원조사업의 일환으로 스리랑카 수도 콜롬보시내에서 약 200km 북동쪽에 위치한 기존 국도 A28호선 Padeniya-Anuradhapura 구간의 연장 80.8km에 대한 실시설계를 “(주)유신코퍼레이션”과 “(주)한국종합기술”이 공동 수주한 실시설계용역이다. 과업 중에서 기존도로의 연성포장설계에 대해서는 기존포장 표면 상태 조사를 Benkelman Beam 장비에 의한 Deflection 측정 결과를 TRRL 833(Transport and Road Research Laboratory)에 절차에 따라 덧씌우기(Overlay)포장을 설계하였다. 기존도로의 아스콘포장은 대부분 영국이 스리랑카를 지배하던 기간(1948년 이전)에 건설된 것으로 포장형태를 살펴보면, 설계구간 80.8km 중 약 55km 구간은 가장 하부층인 두께 약 10cm의 골재기층두께 위에 타르(Tar)를 뿌리고 그 위에 골재(19mm)를 깔고 다시 타르를 뿌린 후 마지막으로 골재(13mm)를 포설하여 마감처리한 DBST(Double Bituminous Surface Treatment) 포장을 2000년경에 개량하여 현재 상태에 이르고 있다. 또한 나머지 약 25.8km 구간은 두께 약 10cm의 골재기층 위에 타르를 뿌려 마감처리한 마캐담(Macadamised) 포장으로 되어있다.

2.2. 설계절차

설계는 TRRL(Transport and Road Research Laboratory) Report 833을 따랐으며, 첫 번째로 기존 포장의 표면조사를 Benkelman Beam Deflection 장비에 의한 처짐값을 측정하고, 두 번째로 장래교통량(CNSA:Cumulative Number of Standard Axles)은 현재교통량에다가 포장의 설계 수명, 매년 교통량 증가율을 대입하여 도표 또는 공식을 이용하여 산출한다. 마지막으로 덧씌우기 그래프에서 주어진 처짐값과 장래교

* 정희원 · (주)유신코퍼레이션 전무이사 · 02-6202-0350(E-mail: jmlee@yooshin.co.kr)

** 정희원 · (주)유신코퍼레이션 사원 · 02-6202-0335(E-mail: y13183@yooshin.co.kr)



통량을 대입하면 덧씌우기 포장두께가 결정된다. 참고적으로 확장구간 및 길어깨(Motor Cycle)구간의 신설포장두께는 TRRL Road Note 31에서 규정한 CBR 설계법으로 산출하였다

2.2.1 BBD(Benkelman Beam Deflection)조사

Washo Road Test에서 개발한 Benkelman Beam은 단순하고 저렴한 장비로 포장조사, 포장평가, 그리고 덧씌우기 설계를 위해 사용해왔으며, 이 장비는 경량의 알루미늄에 붙어있는 단순한 레버암(Lever Arm)으로 구성되어 있다. 처짐을 측정할 지점에 재하된 트럭의 Dual-Tire 사이에 탐침의 끝을 놓아서 처짐을 그림 1과 같이 측정한다. 재하된 차량이 테스트지점을 통과하면 포장의 반동과 위쪽으로의 움직임을 다이얼 게이지로 측정한다. 운영면에서 융통성이 있고 단순하다는 장점이 있으나 다소 더디고 인력이 많이 소요되며 지지대가 잘못 놓여 질 가능성이 있는 단점이 있다.

BBD 조사는 스리랑카의 도로개발청(RDA: Road Development Authority)산하기관인 R&D(Research and Development)에서 수행하였으며 측정별 처짐값 측정결과는 표 1과 같다.

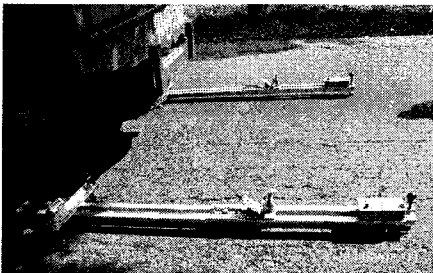
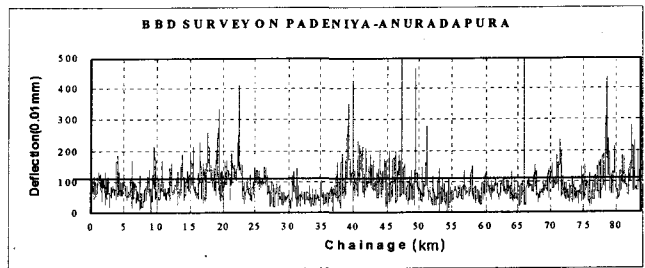


그림 1. Benkelman Beam장비를 이용한 Deflection조사



주: 상기 값에는 계절성 계수(Seasonal Factor) 1.1배가 적용되었음
그림 2. 측정별 처짐값

그림과 같이 우선 차로당 도로방향을 따라 50m 간격으로 바퀴 외측(Outer), 내측(Inner)값을 측정한 후, 표준온도 20℃에 대해 측정시의 온도를 처짐-온도 도표를 이용하여 보정한다. 표 1의 BBD조사에 의한 측정별로 측정된 처짐값을 그래프로 나타내면 그림 2와 같으며, 일부지점에서는 최대 $400 \times 10^{-2} \text{mm}$ 이상도 있으나 대부분 $100 \times 10^{-2} \text{mm}$ 이하로 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 보정절차 등을 거쳐 측정별 처짐값을 구간별로 나타내면 표 2와 같이 최소 $89 \times 10^{-2} \text{mm}$ 에서 최대 $130 \times 10^{-2} \text{mm}$ 를 보이고 있다.

표 1. 측정별 처짐값

ROAD DEVELOPMENT AUTHORITY RESEARCH AND DEVELOPMENT DIVISION ROAD: PADENIYA-ANURADAPURA										
CHAINAGE	DEFLECTION (0.01mm)				Slide Wheel	Narrow Wheel	Max	ROAD & SURF CLASS		
	US OUTER WHEEL	US INNER WHEEL	RIS OUTER WHEEL	RIS INNER WHEEL						
C 050	11	2	11	11	11	9	11	C 130 C 150 C 170		
C 060	42	44	41	42	45	44	45	C 130 C 150 C 170		
C 130	74	56	56	56	56	56	56	C 130 C 150 C 170		
C 150	106	86	86	86	106	86	106	C 130 C 150 C 170		
C 170	35	12	15	15	35	15	35	C 130 C 150 C 170		
C 180	29	29	29	115	112	29	112	C 130 C 150 C 170		
C 190	52	54	52	54	54	54	54	C 130 C 150 C 170		
C 200	4	25	15	21	6	31	41	C 130 C 150 C 170		
C 210	9	11	11	11	11	11	11	C 130 C 150 C 170		
C 220	24	24	24	130	130	24	130	C 130 C 150 C 170		
C 230	101	60	60	106	130	60	106	C 130 C 150 C 170		
C 240	1	29	29	29	29	29	29	C 130 C 150 C 170		
C 250	2	22	22	8	27	27	27	C 130 C 150 C 170		
C 260	82	21	37	79	39	37	79	C 130 C 150 C 170		
C 270	42	35	43	44	42	42	42	C 130 C 150 C 170		
C 280	82	6	23	23	23	6	23	C 130 C 150 C 170		
C 290	37	29	30	26	36	29	36	C 130 C 150 C 170		
C 300	81	59	64	64	81	64	81	C 130 C 150 C 170		
C 310	37	11	20	20	37	20	37	C 130 C 150 C 170		
C 320	14	29	28	22	24	22	24	C 130 C 150 C 170		

(측정구간 0+000~0+950 km)

표 2. BBD 조사에 의한 구간별 처짐값

구간	처짐값(Deflection Value) 10^{-2} mm
0+000~9+000 km	100
9+000~13+550 km	106
13+550~15+750 km	130
15+750~23+050 km	124
23+050~51+250 km	107
51+250~57+750 km	89
57+750~70+000 km	106
70+000~78+350 km	113
78+350~80+800 km	114



2.2.2 장래교통량 예측

현지에서 조사된 24시간교통량에 대하여 구성 비율을 살펴보면 표 3에서 보는바와 같이 Motor Cycle이 28-33%로 제일 많고 그 다음으로 경트럭 20~22%, 소형버스 15~20%, 대형버스 8-13% 순으로 나타나고 있다. 표 3은 구간별 24시간 교통량 조사현황을 보이고 있다. 그림 3에서 수직선 2(초기의 1일 상업용 차량대수)와 수직선 1(설계기간의 총 증가율)을 연결한 다음 수직선 4(포장의 설계수명)에서 수직선 3과 만나는 지점을 연결하면 수직선 5지점의 값이 장래교통량(CNSA)에 해당 된다.

표 3. 24시간 교통량 조사현황

Road No.	Section	Motor Cycle	Three Wheels	Car/ Van	Buses		Trucks			Total
					Small	Large	Light	Medium	Heavy	
A28	Padeniya -> Daladagama	665	192	225	315	200	395	15	3	2,010
	Daladagama -> Padeniya	386	111	131	183	116	229	9	2	1,167
	Both Direction	1051	303	356	498	316	624	24	5	3,177
	Percent of Vehicles(%)	33.10%	9.53%	11.22%	15.68%	9.96%	19.63%	0.74%	0.14%	100%
A28	Daladagama -> Tambuttegama	783	225	265	371	235	464	18	3	2,364
	Tambuttegama -> Daladagama	627	180	212	297	189	372	14	3	1,894
	Both Direction	1410	405	477	668	424	836	32	6	4,258
	Percent of Vehicles(%)	32.18%	10.00%	11.14%	15.82%	7.98%	21.62%	0.81%	0.44%	100%
A28	Tambuttegama -> Anuradhapura	615	191	211	442	292	445	11	11	2,218
	Anuradhapura -> Tambuttegama	555	172	191	398	263	401	10	10	2,000
	Both Direction	1170	363	402	840	555	846	21	21	4,218
	Percent of Vehicles(%)	27.73%	8.61%	9.53%	19.92%	13.16%	20.06%	0.50%	0.50%	100%

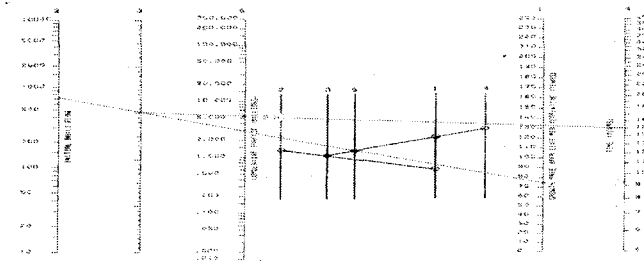


그림 3. 누적 일방향 교통량에 의한 장래교통량 (왼쪽차선, 상업용차량)

그림 3을 이용하여 장래교통량을 예측하는 방법보다는 최근에는 공식에 의한 산출방식을 사용되고 있다. 도로포장의 설계수명 15년(RDA의 지침 10년에서 20년)과 연평균 교통량 증가율 5%를 공식에 대입하여 산출한 구간별 장래 교통량(CNSA) 값은 $5.5 \times 10^6 \sim 6.0 \times 10^6$ 의 장래교통량이 예측 된다.

$$\text{장래 교통량(CNSA)} = 365 \times \sum P_i [(1+r_i)^{n-1}] / r_i$$

식 1.

- 여기서, P_i 건설 1년 후의 평균일의 등가 환산 차량수 (Equivalent Standards Axles)
- r_i 차량 형태별 연평균 교통량 증가율
- n 설계수명

표 4. 구간별 장래 교통량 (CNSA)

구 간	장래교통량 (10^6)	교통량 구분
Padeniya -> Daladagama	5.5	T5
Daladagama -> Tambuttegama	5.7	T5
Tambuttegama -> Anuradhapura	6.0	T5

주: T5는 교통량(ESA) $3.0 \sim 6.0 \times 10^6$ 을 의미함



2.2.3 덧씌우기 두께결정

덧씌우기(Overlay)두께결정은 그림 4의 도표를 이용하여 1구간(0+000~9+000km)에 대하여 두께는 장래교통량 5.5×10^6 에 치짐값(100×10^{-2} mm)선을 각각 연결하면 85mm가 산출되는데, 이 중에서 표 5에서 보는 바와 같이 표층(Wearing Course)의 최소두께 40mm를 결정하면 나머지 45mm가 중간층(Binder Course)이 된다.

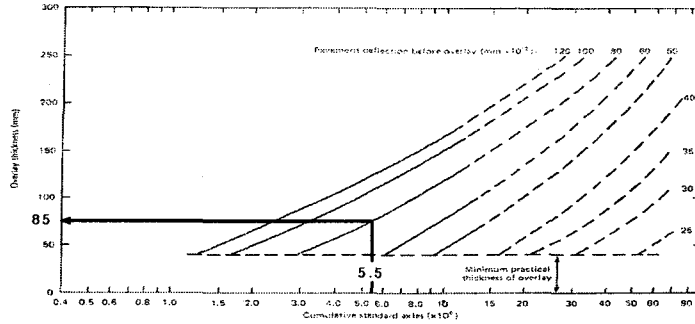


그림 4. 시멘트처리가 안된 골재기층에 대한 포장의 덧씌우기 두께 도표(0.5 가능성)

표 5. 구간별 덧씌우기 두께값

구간	덧씌우기 두께 (mm)		계
	Wearing Course	Binder Course	
0+000~9+000 km	40	45	85
9+000~13+550 km	40	45	85
13+550~15+750 km	40	70	110
15+750~23+050 km	40	70	110
23+050~51+250 km	40	55	95
51+250~57+750 km	40	40	80
57+750~70+000 km	40	60	100
70+000~78+350 km	40	60	105
78+350~80+800 km	40	65	105

3. 아프가니스탄 설계사례

3.1 설계개요

본 과업은 Pulekhumri-Balkh-Andkhoy 구간(연장 390km)와 Naibabad-Hairatan 구간(연장 55km) 등 총 연장 445km에 대해서 기존 포장 상태 조사 결과를 근거로 재포장(Rehabilitation)과 덧씌우기(Overlay) 구간으로 구분하여 설계하였다. 재포장의 경우는 인도에서 개발한 IRC(India Road Congress) 설계법과 AASHTO 1993(AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993) 설계법을 근간으로 각각의 경우에 대한 포장 두께를 산출한 후 이를 비교하여 경제성에 비중을 둔 결과를 채택하였다. 포장상태가 양호한 구간에 적용된 덧씌우기의 경우, AASHTO 1993 설계법에 제시된 설계 기준을 활용하였다. 덧씌우기 설계는 기존 포장이 가지는 구조적 특성이 설계에 반영되기 때문에 기존 포장에 대한 조사가 중요하다. 본 설계에서는 FWD를 이용하여 노상의 회복탄성계수(MR) 및 유효탄성계수(Ep)를 산정하였고 그 밖에 교통량 지수(ESAL: Equivalent Single Axle Load)를 산정하기 위해 교통량 및 축하중 조사, 기존 포장 두께 조사를 위한 시험굴 조사 등을 실시하였다. 여기서는 과업 구간 중 덧씌우기 설계가 주로 시행된 Naibabad~Hairatan 구간의 덧씌우기 설계 과정을 서술하였다.

3.2 설계절차

덧씌우기 설계를 위해 FWD 장비를 이용한 노상의 MR값 산정, 교통량 및 축하중 조사를 통한 ESAL값 산정, 시험굴 조사(Test pit)에 의한 기존 포장 두께 조사, CBR, 시료 채취 및 분석 등을 수행하였다.



3.2.1 FWD 조사

본 과업의 포장 처짐 조사에 쓰인 장비는 KUAB 50 모델이며, 양방향 2차로 도로를 차로당 50m 간격으로 시험을 실시하였다. 표 6은 FWD에서 측정된 포장 처짐값의 일부를 나타내고 있다. 6개의 센서로부터 측정되는 각 지점별 포장 처짐값과 재하 하중값, 측정시 온도 및 시간 등이 거리별로 출력된다. 각 지점별 처짐값 중 노상의 위치에 부합되는 처짐값을 선택하여 온도 보정 과정을 거친 후 회복탄성계수(M_R)과 유효탄성계수(E_p)를 산정한다. 전 구간에 걸쳐 조사된 데이터를 바탕으로 M_R값의 분포에 따라서 동질성 구간을 구분하는 데에도 활용하였다. 그림 5는 FWD를 이용한 포장 처짐 시험 모습을 보이고 있고 그림 6은 FWD에서 조사된 처짐값에 의한 M_R 분포를 이용한 구간분할을 나타낸다.

J	Distance	Temp	Load	GC	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Air	Temp	Comp.	E Mod	Time
J	m	°C	kN	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	°C	°C	MPa	MPa	MM:SS.ss
0	-17	2	81.3	582	657	409	205	149	61	34	11.6	1.1	0	170	9:06.18
0	8	2	81.6	1162	821	689	287	182	73	63	13.4	13.3	0	166	17:09.06
0	29	2	81.7	626	473	375	260	172	80	68	11.4	10.5	0	299	9:07:35
0	47	2	82.9	1294	916	703	431	273	120	63	13	14.1	0	132	17:09:09
0	83	2	82	607	441	346	236	160	119	75	11.1	10.8	0	278	9:08:22
0	100	2	82.1	951	724	380	196	140	67	35	13	14.8	0	720	17:10:12
0	139	2	83.7	132	107	98	75	40	29	11.9	10.6	0	0	1320	9:10:30
0	186	2	82.1	231	230	206	162	132	73	21	13.5	14.5	0	856	9:11:30
0	183	2	83.4	180	170	156	127	92	47	50	13.2	12.8	0	820	9:11:27
0	207	2	84.1	330	270	236	186	143	85	50	11.8	10.9	0	833	17:10:22
0	233	2	83.6	124	108	97	80	67	46	34	11.2	11	0	1401	9:12:18
0	257	2	82.4	174	164	147	122	82	51	30	11.6	10.5	0	409	17:11:33
0	285	2	82.3	189	315	282	229	188	125	83	13.2	12.6	0	821	9:13:24
0	308	2	82.7	164	164	147	122	82	51	30	11.6	10.5	0	379	17:10:44
0	303	2	82.0	280	376	326	284	194	112	71	13.4	12.2	0	867	9:13:52
0	317	2	82.6	225	225	203	167	137	90	60	11.6	10.8	0	817	9:13:52
0	343	2	82.8	336	329	303	224	177	109	70	12	14.0	0	444	17:10:50
0	357	2	82.8	318	315	274	212	166	107	71	11.6	10.8	0	850	9:14:05
0	403	2	84.3	289	264	237	191	158	106	73	13.4	12.2	0	810	9:14:10
0	433	2	82.5	216	245	221	183	150	105	71	11.6	10.5	0	823	9:14:27
0	452	2	82.2	362	358	373	315	179	120	81	13	14.2	0	486	17:10:17
0	484	2	82.8	362	363	367	283	192	104	64	11.4	10.4	0	473	9:14:14
0	509	2	83.8	429	419	352	259	210	128	80	13.2	12.4	0	330	17:17:31

표 6. FWD에 의한 포장 처짐 측정 결과

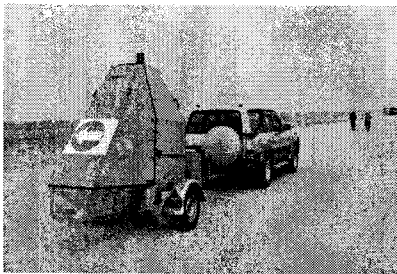


그림 5. FWD 조사 전경

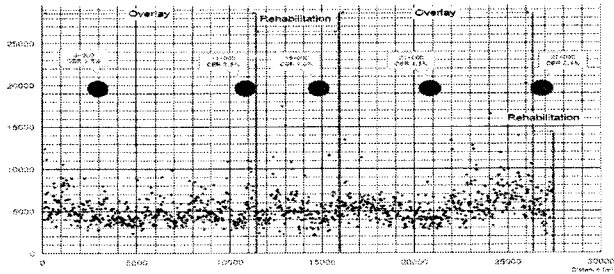


그림 6. M_R 분포를 이용한 구간 분할

3.2.2 장래교통량 예측

ESAL 산정을 위한 장래 교통량 예측하기 위해 축하중 조사 및 교통량 조사를 실시하였다. 조사 위치는 차량 통행량이 변화하는 주요 교차로 지점을 중심으로 선정하였고 조사 차량은 각각 대형버스(Large Bus), 2축 트럭(Medium Truck-2 Axles), 3축 트럭(Heavy Truck-3 Axles), 대형 트럭(Heavy Truck-4 or more Axles) 등으로 구분하였다. 교통량 조사는 전 차종에 대해서 실시하였으나 축하중 조사는 포장에 큰 영향을 미치는 Commercial Vehicle을 대상으로 하였다. 각 구간별 교통량 및 축하중은 하루 12시간씩 4일간 측정했으며 평균값을 TRRL Report에서 제시하는 Scaling Factor(일교통량 산정계수)와 Seasonal Factor(월교통량 변환계수)를 적용하여 연평균 교통량으로 환산하였다. 과업구간은 국·내외로 물자수송량이 점차 증가하고 있기 때문에 3축 대형 트럭에 대한 교통량이 높게 측정되고 있다. 표 7은 본 구간에서 실시한 양방향 교통량 조사 결과를 제시하고 있다. AASHTO 설계법에서는 1축(Single), 2축(Tandem), 3축(Tandem)에 대한 각각의 하중에 대해 구분하며 예측된 SN(Structure Number)에 해당하는 단축 환산 계수(Axle Load Equivalency Factor)는 설계법에서 제시하는 값을 이용한다. 이와 같은 방법을 이용하여 각 차종별로 계산하여 예상 교통량과 차종별 ESALF으로 설계수명 15년의 ESAL을 산정하였다. 표 8은 ESAL 산정값을 나타낸다.



표 7. 교통량 조사 결과표

Location of survey, Matched Check Point		Time : From 06:00 To 18:00		Observation : All Days	
Date : 2006. 09.01~09.30	From : National Route 20	To : National Route 20		To : National Route 20	
CLASSIFICATION	24 HOUR	24 HOUR	24 HOUR	24 HOUR	24 HOUR
TRUCK	15	15	15	15	15
HEAVY TRUCK	10	10	10	10	10
MEDIUM TRUCK	5	5	5	5	5
SMALL TRUCK	20	20	20	20	20
TRUCK TOTAL	50	50	50	50	50
HEAVY TRUCK	10	10	10	10	10
MEDIUM TRUCK	5	5	5	5	5
SMALL TRUCK	15	15	15	15	15
TRUCK TOTAL	30	30	30	30	30
HEAVY TRUCK	5	5	5	5	5
MEDIUM TRUCK	10	10	10	10	10
SMALL TRUCK	15	15	15	15	15
TRUCK TOTAL	30	30	30	30	30
HEAVY TRUCK	5	5	5	5	5
MEDIUM TRUCK	10	10	10	10	10
SMALL TRUCK	15	15	15	15	15
TRUCK TOTAL	30	30	30	30	30

표 8. ESAL 산정값

Date	Time	Location	From National Route To National		From National Route To National		Total
			24 Hour	24 Hour	24 Hour	24 Hour	
2006.09.01	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.02	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.03	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.04	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.05	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.06	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.07	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.08	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.09	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.10	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.11	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.12	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.13	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.14	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.15	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.16	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.17	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.18	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.19	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.20	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.21	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.22	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.23	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.24	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.25	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.26	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.27	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.28	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.29	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...
2006.09.30	06:00-18:00	...	...	...	...	...	...

3.2.3 시험굴 조사(Test pit)

기존 포장의 특성을 파악하기 위해 시험굴 조사를 실시하였다. 본 조사에서는 노상 위 기존 포장층의 두께 조사, 노상의 물성 조사와 동질성 구간 분할 등을 위한 CBR 시험 및 시료 분석 등이다. 덧씌우기 설계에 큰 영향을 미치는 기존층 두께의 편차를 최소화하기 위해 2km마다 층두께를 조사했고 각 측정점의 노상 시료를 채취하여 실내 CBR 시험 및 시료 분석을 하여 동질성 구간 분할에 참고했다. CBR 시험결과로 MR값을 산정하여 FWD에서 나온 MR값과 비교하는 작업도 병행하였다.

3.2.4 덧씌우기 두께결정

위와 같은 과정에서 산정된 각각의 설계인자들을 이용하여 덧씌우기 포장설계를 실시하였다. AASHTO 93' 설계법은 장래 교통량의 증가 단축 하중(ESAL : Equivalent Single Axle Load) 및 노상 지지력 강도를 나타내는 회복탄성계수(MR : Resilient Modulus)를 산정하고 그 밖에 과업 구간에 맞는 신뢰도 지수, 서비스 지수 등의 값을 가정하여 소요 SN 값을 구하게 되며, 소요 SN 을 구하는 식은 다음과 같다.

$$Log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 Log_{10}(SN_f + 1) - 0.20 + \frac{Log_{10}(\frac{\Delta \Psi}{4.2 - 1.5})}{0.40 + \frac{1094}{(SN_f + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times Log_{10}(MR) - 8.07 \quad \text{식 2.}$$

- 여기서, W_{18} 설계기간 내에 예측되는 누가 18-kip 환산 단축 하중 수
- Z_R 표준 정규 편차
- S_0 교통량 예측과 공용성 예측에 대한 혼합표준오차
- $\Delta \Psi$ 초기설계서비스지수 P_0 와 최종설계서비스지수 P_L 와의 차
- MR 노상회복탄성계수, psi

본 설계에서는 FWD에 의한 MR 산정외에 CBR 조사에 의한 MR을 추가로 산정하여 결과를 비교하였다. CBR 값을 MR값으로 치환하기 위한 방법으로는 AASHTO 설계법에서 제안하는 식을 적용했으며 변환식은 식 3과 같다.

$$MR(\text{psi}) = 1500 \times \text{CBR} \quad \text{식 3.}$$

최종적으로 덧씌우기 포장설계에 필요한 소요 두께에 대한 최종 소요 SN지수(SN_{request})는 소요 SN(SN_f)에서 유효 SN($SN_{\text{effective}}$)을 뺀 값으로 결정한다. 신설 포장에 대한 아스팔트의 상대강도계수는 AASHTO에서 제시하는 0.44를 적용하였다. 신설 포장에 필요한 SN을 구하는 식과 덧씌우기 두께를 구하는 식은 다음과 같다.

$$SN_{\text{request}} = SN_f - SN_{\text{effective}} = a \times D \quad \text{식 4.}$$

AASHTO 설계법에서는 기존 포장층에서 산정되는 유효 포장두께지수(SN_{eff})를 구하는 3개의 방법을 제시하고 있는데 본 설계에서 적용한 방법은 기존 포장층의 두께 및 상대강도계수를 이용하는 방법과 FWD를 활용하여 포장층의 유효탄성계수(E_p)를 산정하는 NDT(Nondestructive Testing)에 의한 방법이다. 전자의 방법



은 기존 포장층의 전단면에 대한 두께를 조사하여 각 층별 두께와 각 재료별 상대 강도 계수를 이용하여 기존 층에 대한 SN_{eff} 를 산정하는 방법이다. 2km 마다 실시된 시험굴 조사(Test Pit)에서 측정된 기존 포장층의 두께와 기존 포장의 각 층별 상대강도계수를 정하여 기존 층의 SN값을 산정하였다. 상대강도계수는 AASHTO에서 제시하는 기존 포장 파손율을 고려한 계수를 선택하여 아스팔트 표층 및 기층은 0.325, 골재 기층 및 보조기층은 0.11을 각각 적용하였다. 기존 포장층이 갖는 SN_{eff} 를 산정하는 식은 다음과 같다.

$$SN_{eff}=a_1D_1+a_2D_2m_2+a_3D_3m_3 \tag{식 5.}$$

여기서, SN_{eff} 기존 포장층에서의 유효 SN D_i 각 포장층별 두께, inches
 a_i 각 포장층별 상대강도계수 m_i 각 포장층별 배수계수

후자는 FWD 시험을 통해 노상 위의 탄성계수(E_p)를 산정함으로써 SN_{eff} 를 구하는 방법으로, E_p 와 SN_{eff} 를 산정하는 식은 다음과 같다.

$$d_0 = 1.5pa \frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a}\right)^3 \left(\frac{E_p}{M_R}\right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a}\right)^2}}}{E_p} \tag{식 6.}$$

여기서, d_0f 중심 하중재하판에서의 처짐값 P 하중재하압력, psi
 a 하중재하판의 반지름 D 노상 위 전체 포장층의 두께, inches
 M_R 노상 회복탄성계수, psi E_p 노상 위 포장 층의 탄성계수, psi

$$SN_{eff}=0.0045D \sqrt[3]{E_p} \tag{식 7.}$$

여기서, SN_{eff} 기존 포장층에서의 유효 SN
 D 노상 위 전체 포장층의 두께, inches
 E_p 노상 위 포장 층의 탄성계수, psi

FWD 시험 결과 데이터를 근거로 E_p 와 M_R 을 산정하면 표 9와 같이 나타난다. 각 재하판에서 측정된 결과값 중에서 노상의 M_R 로 판단되는 값을 선택하여 E_p 를 계산하였다. 또한 노상 위의 기존 포장층 두께에 대한 대표값을 적용하여 기존 포장층이 갖는 유효 SN을 각 측정별로 계산하고 덧씌우기 설계 두께가 측정별로 계산되어 이를 통해 구간에 대한 최종 설계 두께를 결정하였다. 총 연장 55km의 Naibabad~Hairatan 구간은 육안 조사, FWD 조사 데이터 등을 활용하여 일부 구간을 제외하고 덧씌우기 구간이 45km로 결정되었고 이는 다섯 개의 의 구간으로 세분되어 각각의 구간에 대한 덧씌우기 두께가 결정되었다. 표 10은 본 과업 구간에 대한 최종 두께를 보이고 있다.

표 9. FWD에 의한 포장 처짐 측정 결과

Position m	D1 inch	H1 inch	DOTC um	Mr psi	C*Mr psi	Ep psi	SNf	SNEff	DCI inch
-17	18	8	1113	28250	8406	20331	4.97	1.88	6.50
32	18	8	713	20345	4964	41204	5.34	2.49	6.50
92	18	8	628	16481	4018	47805	5.67	2.81	7.00
108	18	8	275	22230	5424	208638	5.18	4.26	2.10
133	18	8	150	60885	12411	306749	3.97	4.85	-2.00
156	18	8	318	28178	8143	141633	4.96	3.75	2.80
183	18	8	222	28966	7065	236361	4.77	4.45	0.70
207	18	8	381	22963	5679	121182	5.13	3.68	3.80
233	18	8	141	45739	11180	378898	4.11	6.18	-2.40
257	18	8	409	16888	4071	124100	5.86	3.69	4.70
283	18	8	214	29825	7277	245370	4.72	4.51	0.50
305	18	8	504	17301	4222	82692	5.69	3.13	5.80
323	18	8	298	22201	5417	188443	5.18	3.88	2.70
357	18	8	433	18430	4497	103391	5.48	3.26	4.80
383	18	8	431	18863	4654	98230	5.46	3.22	4.90
408	18	8	326	20066	4804	162376	5.34	3.94	3.20
433	18	8	313	19418	4739	172018	5.40	4.00	3.20
457	18	8	394	17518	4274	128699	5.57	3.84	4.40
484	18	8	413	19260	4731	132723	5.40	3.88	4.80
509	18	8	578	15560	3797	71020	5.77	2.88	6.30



표 10. 아스팔트 덧씌우기 설계 결과

	구간	Km0+000	Km16+000	Km18+000	Km23+000	Km27+500	계택
		~Km11+400	~Km18+000	~Km23+000	~Km26+500	~Km51+500	
FWD M _R (방법 A*)	연장(km)	11.4	2.0	5.0	3.5	24.0	
	AP 표층	4	7	4	4	4	
	AP 기층	10	0	9	5	11	
	총 두께	14	7	13	9	15	
FWD M _R (방법 B**)	AP 표층	4	4	4	4	4	○
	AP 기층	9	9	11	5	11	
	총 두께	13	13	15	9	15	
	연장(km)	4					
CBR M _R (방법 B)	AP 표층			4		4	
	AP 기층			5		15	
	총 두께			9		19	
	연장(km)					7	
						4	
						0	
						7	
						11	

* 방법 A: FWD 시험에 의한 E_p산정법
 ** 방법 B: 기존 포장층 두께 조사에 의한 방법

(단위: cm)

4. 결론

스리랑카의 포장설계의 경우 TRRL Laboratory Report 833(1978년) 절차에서 Benkelman Beam 장비로 기존 연성포장에 대한 처짐을 측정하고, 장래교통량은 도표 또는 공식을 적용하여 산출된 값으로, 덧씌우기 두께산출은 그래프를 이용하여 결정되었는데, 대부분 구간이 100mm 내·외의 두께를 보였다. 이 중에서 아스팔트 콘크리트 표층(Wearing Course)은 전 구간에 걸쳐 일률적으로 최소두께에 해당하는 40mm로 정하고, 나머지두께는 중간층(Binder Course)으로 설계하였다. 본 설계과정도 비파괴 처짐시험에 근거한 평가의 하나인 Benkelman Beam에 의한 방법이나 측정 장비의 정확성이 떨어질 뿐만 아니라 기존 지반의 노상지지력인 CBR 값도 반영하지 않는 조건에서 덧씌우기 두께를 구하는 방법인 관계로 최근에는 Overseas Road Note 31(TRRL, 1993)을 수정한 방법이 사용되고 있다. 본 과업은 기존의 DBST 포장 및 마카담 포장 위에 덧씌우기하는 방법으로 이 구간의 장래교통량 증가에 의한 것보다는 열악한 포장에 대한 보수(Rehabilitation) 성격의 포장이라고 볼 수 있다. 최근의 포장설계는 환경조건, 배수조건 등이 현장조건에 맞는 설계법으로 추진되고 있는 추세를 감안할 때 앞으로는 FWD 장비를 활용하는 1993 AASHTO 설계절차에 의한 방법을 적용하면 더욱 경제적인 측면의 설계가 이루어질 것으로 예상된다.

아프가니스탄의 포장설계는 기존 포장을 조사하여 그 상태에 따라 재포장(Rehabilitation)과 덧씌우기(Overlay) 설계로 구분하였고 교통량 및 축하중 조사, 시험굴 조사에 의한 CBR 및 기존 포장층 조사, FWD 포장 처짐 조사 등을 통해 각각의 설계가 실시되었다. 아프가니스탄 설계 역시 구간별로 표층 4cm를 적용하고 나머지 두께는 아스팔트 기층으로 적용하여 총 두께 9~15cm의 덧씌우기가 설계되었다. 본 설계에서는 FWD 시험으로 산정된 M_R에 의한 두께 외에 CBR로 산정한 M_R로 산정한 두께를 비교하였다. 대부분의 구간에서 CBR로 M_R을 산정한 경우의 두께가 얇게 나타났는데, 전체적으로 「MR=1500×CBR」로 산정한 MR 값이 FWD에 의한 값보다 크게 측정되고 있다. 본 과업은 아직 국내에서 적용된 사례가 없는 FWD를 이용한 역학적 포장 설계방식을 적용하였다. 경험적이고 일률적인 기존 포장 설계 방식에서 비파괴 장비를 이용한 역학적 설계를 실제 설계 및 시공에 반영함으로써 보다 합리적인 설계를 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. C.K. Kennedy and N.W Lister, TRRL(Transport and Road Research Laboratory) Report 833, Prediction of Pavement Performance and the design of Overlay, 1978
2. Overseas center, TRL, Overseas Road Notes 31: A Guide to the Structural Design of Bitumen - Surfaced Roads(Fourth Edition), 1993
3. RDA, A Guide to the Structure Design of Flexible Pavements in SriLankan Condition, 1999
4. Indian Road Congress(IRC) Publication, IRC-37: 2001 Indian Road Congress Guideline, 2001
5. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, 1993