

부체도로 포장의 단면 설계 지침 개발 연구

The development of pavement section and thickness design guidelines for rural access roads

황 성 도	Hwang, Sung-Do	정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 (E-mail : sdhwang@kict.re.kr)
권 수 안	Kwon, Soo-An	정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구위원 (E-mail : sakwon@kict.re.kr)
이 문 섭	Lee, Moon-Sup	정회원 · 한국건설기술연구원 책임연구위원 (E-mail : truepath@kict.re.kr)
김 담 룡	Kim, Dam Ryung	학생회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 학사과정 (E-mail : damryung.kim@daum.net)
이 상 영	Lee, Sang Yum	정회원 · 인덕대학교 건설정보공학과 조교수 · 교신저자 (E-mail : yummy0220@induk.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : This study proposes standards for rural access road pavement section and thickness design considering existing access road construction conditions; the study also proposes a complementary policy that can be used for design convenience.

METHODS : Various literature review and case studies had been performed in terms of rural access road section and thickness design, both domestically and internationally, and this was followed by domestic rural access road field surveys. KPRP and KENLAYER were used to analyze the commonalities and predict the remaining life. Data on real cost is used to select an appropriate construction method through economic analysis.

RESULTS : The economic efficiency of concrete pavement (15×15) was the highest in terms of economic efficiency of performance life and traffic volume. In the case of asphalt pavement, it is considered that the most economical method is to implement micro-surfacing method four times as a preventive maintenance method (once every 10 years and 4.5 years for asphalt concrete pavement and MS construction method, respectively). Repairable asphalt pavement is advantageous for areas where heavy vehicles are expected to pass. In the case of other general areas, it is considered economical to place concrete (15×15) pavement. However, as analytical results on its performance life are unavailable, it is to be considered for study in the future.

CONCLUSIONS : This study proposed interim design guidelines based on various domestic and international design guidelines and case studies. However, in order to develop the final design criteria applicable to the field, it is necessary to (a) estimate the bearing capacity of the lower level of the pavement at various sites, (b) estimate the daily traffic volume, (c) implement advanced low-cost pavement technologies, and (d) propose maintenance standards and techniques for long-term performance.

Keywords

Rural access road, pavement section and thickness design, performance analysis, economics

Corresponding Author : Lee, Sang-Yum, Assistant Professor
Department of Construction Information, Induk University, 12,
Choansan-ro, Nowon-gu, Seoul, 01878, Korea
Tel : +82.2.950.7587 Fax : +82.2.950.7599
E-mail : yummy0220@induk.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

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

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Mar. 13, 2017 Revised Mar. 29, 2017 Accepted Mar. 29, 2017

1. 서론

1.1. 연구개요

고속국도나 일반국도는 넓은 지역을 관통하며 여러 측면에서 해당지역에 큰 영향을 미치게 된다. 이 가운데 간선도로의 관통은 지역 주민들의 소통을 저해시키고 기존 생활권의 분할 등 여러 문제를 야기해 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위한 농로, 이설도로 등 부체도로는 해당 지역주민들에 대한 편익제공을 위해 설계 및 시공되어 왔다. 기존 부체도로 포장설계는 전문 시방서상에 별도의 시공지침 없이 고속도로 건설공사 표준도상에 쌓기부와 깔기부로 나누어 시멘트 콘크리트포장, 아스팔트 콘크리트포장 및 골재다짐포장으로 제시되어 있는 획일화된 표준 횡단면도에 의거하여 실시되었고, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 등 현장 실무자들이 주로 사용하는 지침서상에도 부체도로에 대한 명확한 정의가 모호할 뿐 아니라, 설계 시 교통량, 하부층 지지력, 농도 등 지면 접촉도로의 특성이 고려되지 않는 등 전반적인 부체도로 관련 설계 기준이 미약하여 혼란만 가중되어 왔다.

시공 역시 일반적으로 포장단면 두께 20cm의 시멘트 콘크리트 또는 15cm 아스팔트 콘크리트를 인력으로 시공하여 왔다. 부체도로는 기본적으로 중하중 교통이 거의 없는 도로로서 현재와 같은 콘크리트포장 20cm 포설이 과중하다는 지적이 제기되어 왔다. 그러나 단순히 이러한 포장공법이나 단면만으로 경제성을 판단할 수 없는 것은 현장여건에 따라 장비와 인력수급여건이 달라지며 아울러 해당지역주민들의 요구조건 또한 고려사항이 되기 때문이다. 또한 경제성, 시공성, 친환경성, 향후 유지관리 측면에 대한 고려 없이 적용되어 왔기 때문에 부체도로의 사용자인 지방자치단체와 적용규격에 대한 마찰이 상존하여 왔고 인력포설에 따른 시공성의 문제 역시 제기된 바 있다.

본 연구의 목적은 기존 부체도로 건설여건을 고려하여 세부적인 사항들에 대한 지나친 표준화, 획일화는 오히려 현장책임자의 공학적 판단을 저해할 수 있으므로 다양한 공법에 대한 설계 및 시공기준과 설계상 편의를 도모할 수 있는 보완 의견을 제시하는 것이다.

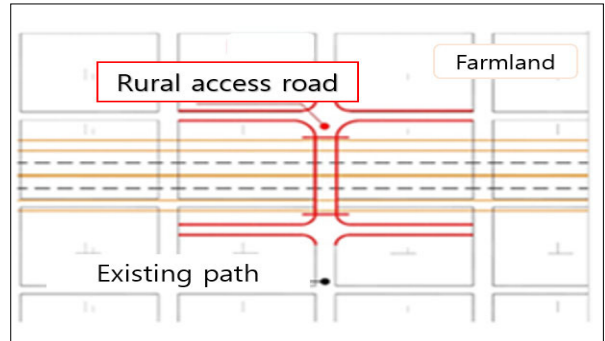
2. 부체도로의 정의

2.1. 국내 사례 분석을 통한 부체도로에 대한 정의

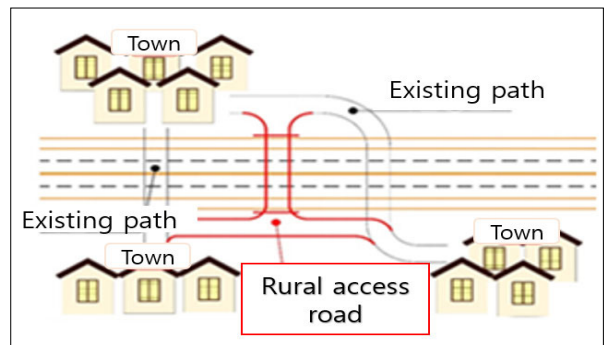
부체도로란 일반적으로 간선도로, 고속국도 등의 주도로가 기존 주변지역이나 도로를 잠식하게 되면, 기존 도로이용 주민들의 통행이 불가능해지기 때문에 별도의 도

로를 건설하여 소통을 가능하도록 하는 도로를 의미한다.

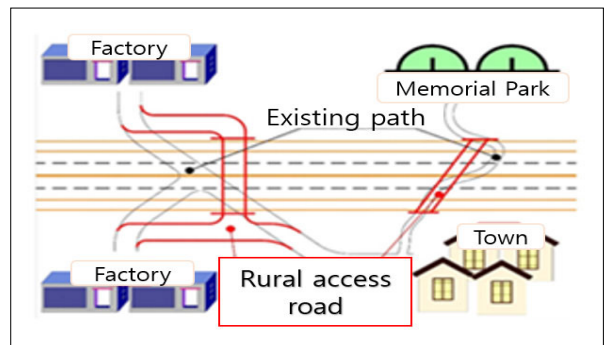
부체도로에 대하여 한국건설기술연구원 자료집(2004)에는 “신설되는 주도로(간선도로)의 노선이 기존의 도로를 잠식하여 기존도로의 통행이 불가능해지는 것을 해소하기 위해, 주도로와는 별도로 기존의 도로를



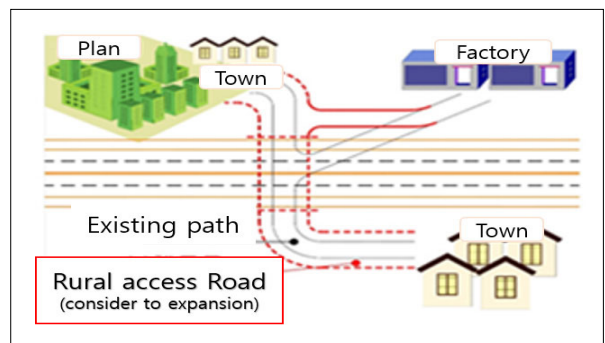
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 1 Example of Rural Access Road

연결시키는 도로구간이고, 주도로에의 진출입이 허용되지 않으며, 부체도로는 기존도로의 통행상태를 유지하기 위하여 일방통행 또는 양방통행으로 운영한다.”라고 정의하고 있다. 한국도로공사 설계실무요령에 따르면, 부체도로란 “고속도로 건설로 인해 단절되는 도로(마을 진입로, 농로, 소로)에 대하여 연결을 목적으로 설치되는 도로”로 정의되어 있다. 주간선도로 신설로 발생된 통행 단절에 대한 부체도로로 연결하는 대표적인 조건을 부체도로의 적용대상에 따라 Fig. 1과 같이 4가지로 구분하여 나타내었다.

Fig. 1(a)는 기존 농경지 구간에 주간선도로 신설로 단절된 기존경로를 연결한 것이다.

Fig. 1(b)는 기존 마을간 도로가 주간선도로 신설로 단절되어 부체도로로 연결한 것이다.

Fig. 1(c)는 기존 공장과 마을, 그리고 산지로도가 주간선도로 신설로 단절되어 부체도로로 연결한 것이다.

Fig. 1(d)는 마을간 단절된 기존 도로를 부체도로로 연결 시 장래 단지조성 계획 확장성을 고려한 것이다.

도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(2013)에 의하면, 부체도로의 종단경사는 “농경지와 마을 등의 진출입을 위한 도로로 비법정 도로이며, 본 규칙에서 적용하고 있는 도로의 대상은 아니나, 설계의 편의를 위하여 가능하면 국지도로의 기준을 적용한다”라고 되어 있다. 여기서 국지도로의 최대 종단경사는 산지의 경우 최대 16%까지 허용하고 있다. 그러나 지방 국지도로나 농로와 같이 부체도로의 특성상 교통량이 적고, 평지, 구릉지, 산지 등 적용대상 구간이 다양하므로, 종단경사에 대한 범위를 확장할 수 있을 것이다. 대신 적용 가능재료를 시공성에 따라, 시멘트 콘크리트보다는 아스팔트 콘크리트나 골재 포장 등 높은 경사에도 작업에 무리가 없이 시공할 수 있는 재료로 규정해야 할 필요가 있다.

다음은 기능상 국지도로이며, 도로법상 관리주체에 따라 지방도로인 군도, 농어촌도로법상 농어촌 도로(이하 농로라 표현)에 속하는 부체도로에 대하여 그 정의를 좀 더 명확히 하기 위하여 농로에 대하여 살펴보았다. 농로의 경우 일반적으로 인접한 토지에서의 보행자 및 차량의 자유로운 출입을 허가하는 기능을 가지며, 도로 이용자의 원활한 이동을 보장하는 도로로 보행자, 차량, 농기계의 진출입 기능 및 주차 가능폭원을 갖고 있어야 한다. 또한 농기계의 주행 특성인 회전반경, 속도, 접지압, 등판능력 등에 대응한 구조단면과 포장재료 및 선형을 갖춘 도로로서, 부체도로 역시 농로와 이용특성이 거의 동일함을 알 수 있다.

부체도로와 유사하게 측도(側道)의 경우 한국건설기술연구원 자료(2004)에 따르면 “간선도로가 주변 토지에 접근할 때 교통류를 원활하게 유도하여 유출입할 수 있도록 본선차도에 병행하여 설치되는 도로로, 특히 본선도로가 주변지형과 고저차가 있는 경우 유용한 접근시설이며, 간선도로로 유·출입을 특정지점에 제한하고 일방통행 운영으로 교통안전성이나 도로주변 토지이용 효율성을 높이는 방법”이라고 표현하고 있다. 또한, 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(2013)에 의하면, 측도란, “일반도로 또는 도시지역 도로의 구조가 성토와 절토로 이루어져, 본 도로와 고저차가 있어 자동차가 주변으로 출입이 불가능한 경우 또는 환경대책상 차음벽을 연속하여 설치할 필요가 있기 때문에 도로 주변의 자유로운 출입이 불가능한 경우에 자동차가 도로주변으로 출입할 수 있도록 본선 차도에 병행하여 설치하는 도로”라고 규정하고, “4차로 이상 지방지역 도로 또는 도시지역 도로에서 도로 주변으로 출입이 방해되는 경우에 필요에 따라 설치되며, 일반적으로 선형, 경사 등이 제한된 높은 규격의 도로에 필요로 하는 경우가 많으므로 계획 교통량이 비교적 많은 4차로 이상의 고속도로 또는 간선도로에 필요에 따라 설치한다.”고 표현되어 있다.

즉, 측도는 교통량이 많고, 고속국도나 도시지역을 통과하는 간선도로에 접속을 목적으로 교통의 흐름을 원활히 유도하기 위한 도로이며, 간선도로 등의 주도로 접속을 위한 목적이 아닌, 주도로의 건설로 인해 야기되는 지역단절을 해소하기 위해 지역간 마을을 연결하는 성격의 부체도로와는 명확히 다르다고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 일반적으로 현장 실무에서 혼용하여 사용되고 있는 부체도로와 측도를 구분하고, 부체도로에 대한 포장 설계기준을 제시하는 것으로 범위를 한정하였다.

2.2. 국외 사례를 통한 부체도로에 대한 정의

미국에서는 부체도로에 대한 별도의 구분이 없으나, 국내에서 규정한 측도와 유사한 의미로 Frontage road, Access road, Service road라고 표현되고, 농로의 성격을 가지는 도로로서 Rural road, Local road 등으로 표현하고 있다. 일본의 경우도 부체도로의 용어는 사용하지 않고 있으며, 농로의 개념으로 국내의 부체도로와 성격이 같은 도로를 설계 및 시공하고 있다.

그러나 본 연구에서는 국외 사례에서 사용되는 의미 중 일부를 공통적으로 사용하고 있으므로 Rural access road로 구분하기로 하였다.

3. 부체도로 포장 단면설계 사례

3.1. 국내 부체도로의 포장 단면설계 사례

한국도로공사는 설계실무지침서를 통해 현재 사용중인 부체도로에 대한 설계적용기준을 계속적으로 수정 보완하여 적용해 오고 있다. 한국도로공사 설계실무지침서(제7편 포장공/제9장 기타포장/9.2 부체도로 포장)에 의하면, 부체도로는 평면교차로가 자주 발생하게 되거나 농로 등 기존 부락을 연결하는 도로의 단절을 방지하고 주도로의 접근관리(access control)를 위해 설치한다. 그리고 기존 도로측면의 농지 진입을 위해 부체도로를 설치하고 통행을 제한하기도 한다. 또한, 콘크리트 포장의 줄눈 간격은 5m로 하고, 포장형식은 기존도로 포장형식, 접속도로의 현장여건(시공성), 주민의견 등을 고려하여 결정하되, 본선계획고보다 높게 위치한 부체도로는 가급적 콘크리트 포장이나, 아스팔트 포장을 적용하는 것으로 한다. 부체도로 폭원별(6m, 4m) 적용기준을 정리하면, Table 1과 같다.

Table 1. Rural Access Road Application Criteria by Width

Total width 6m (Road width 5m)	
Main agricultural machinery	Heavy-Truck (More than 6 ton), Combine(Large)
Application Criteria	Village ramp, Rural road(Pavement) (B=more than 4.0m)
	Connected to passage culvert (more than 4.5×4.5, 4.0×4.0)
	The place where the bus and ready mixed concrete is expected to be posted or expected
Asphalt concrete 35cm, Cement concrete 40cm	
Total width 4m (Road width 4m)	
Main agricultural machinery	Tractor(30ps grade), Tiller
Application criteria	Village ramp, Rural road(Pavement) (B=more than 4.0m)
	Connected to passage culvert (below 3.5×3.5)
Asphalt concrete 35cm, Cement concrete 40cm	
Total width 3.5m (Road width 3m)	
Main agricultural machinery	Light-truck, Tiller
Application criteria	small road(B=below 4.0m)
	Connected to passage culvert (below 3.5×3.5)
	A low road(connecting to the mountain)
Compacted aggregate : Subbase-1(T=200mm)	

3.2. 국외 부체도로의 포장 단면설계 사례(미국)

미국은 부체도로(측도) 설계 시 일반적으로 AASHTO 1993 포장설계법을 준용하고, 설계 변수로 재료규정(구조설계를 위한 재료성질), 포장 구조의 성격, 보강재 변수, 교통특성(차선별 트럭교통 분포, 교통량 성장계수), 도로폭 등을 포장 설계변수로 사용한다.

지방도로의 기하구조, 일반적인 도로 표면 유형, 도로 표면 디자인에 대하여 작성된 Rural road design, maintenance, and Rehabilitation guide에 의하면, 전형적인 지방도로의 포장단면에 대한 기준을 다음과 같이 규정하고 있다.

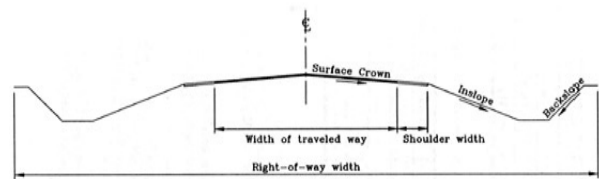


Fig. 2 Typical Pavement Cross Section (SD Department of Transportation, 1996)

미국 부체도로(농로)에 적용될 수 있는 포장 단면 구성 및 포장공법 유형은 골재(자갈)포장, Chip seal 등 박층포장, 아스팔트 콘크리트포장, 포트랜드 시멘트 콘크리트포장 4가지로 되어 있다.

박층포장 도로는 intermediate-type 도로로 간주된다. 박층포장 도로는 표면처리로 구성되어 있으며 표면처리 칩의 혼합 노면에 아스팔트 시멘트를 균일하게 적용하여 이루어져 있다. 표면 처리는 골재 칩의 크기 및 표면처리 포설 횟수에 따라, 두께 6mm(0.25 in) 또는 25mm(1in)로 얇게 시공할 수 있다. 박층은 상대적으로 긴 수명을 가지고 있고 포장비가 저렴하며 변형, 먼지가 없고, 차량 타이어에 의한 표면물질 손실이 없다. 그러나 교통하중(특히 트럭)의 용량이 크면 포장의 수명이 비교적 짧아진다.

아스팔트 콘크리트(AC) 포장은 high-type 포장으로 높은 교통용량이나 무거운 룬하중에 저항하기 위한 것이다. 기존의 AC 포장층은 다음과 같은 재료와 두께로 구성되어 있다.

- ① 두께 50~150mm(2.0~6.0) AC층
- ② 두께 150~300mm(6.0~12.0) 골재(자갈) 기본코스
- ③ 다져진 노상

다층으로 이루어진 포장시스템의 설계와 성능의 기본 원리는 좋은(강한) 성능의 재료를 차량의 하중으로 인해

응력이 높은 부분인 상부층에 사용하고, 낮은 품질의 재료는 응력의 강도가 낮은 하부층에 사용하는 것이다.

연속 철근 콘크리트 포장 (CRCP)은 PCC 포장의 또 다른 유형이지만, CRCP는 농촌, 작은 도로에 거의 사용되지 않는다. 무근 콘크리트 포장(JPCP)과 철근콘크리트포장(JRCP) 간의 주요 차이점은 슬래브 보강 및 횡이음부 간격의 사용과 관련이 있다. JPCP는 슬래브 보강이 없고 횡이음부 간격이 짧다(일반적으로 4.6m[15 피트] 이하). JRCP는 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 여러 형태의 균열을 방지하기 위한 철근을 가지고 있다. 일반적으로 JRCP의 이음부 간격이 JPCP의 이음부 간격보다 훨씬 더 크기 때문에 비용이 더 소요된다. 콘크리트 포장의 균열은 온도와 습도의 변화 및 룬하중의 결합효과에 의해 발생한다. 횡방향/종방향 이음부는 콘크리트 포장에서 균열의 위치를 제어하기 위해 설치한다.

미국 부체도로(농로)의 포장형식은 국내부체도로의 포장형식이 골재포장, 아스팔트 콘크리트포장, 시멘트 콘크리트 포장 3가지로 구성된 것과 달리 박층 포장공법이 추가되어 있기 때문에 보다 다양한 공법을 선택할 수 있도록 되어 있어 경제성과 시공성, 그리고 환경성이 고려된 것을 알 수 있다.

3.3. 국외 부체도로의 포장 단면설계 사례(일본)

국내의 부체도로에 해당하는 포장공법 및 단면설계 구성을 통해 살펴본 바 일본에서의 농로 설계(일본 농로 설계안, 농림 수산, 2004.2)는 자연조건, 사회조건, 경제조건, 시공조건 등의 외부로부터의 제약조건을 만족하며 안정성, 내구성, 경제성, 시공성을 검토하고 실시하여야 한다. 또한 농가를 포함한 지역주민 관리자 및 지식인의 의견을 청취한 다음 적용 가능한 여러 종류의 노선안과 공공법안을 선정하고 이러한 것들을 지역주민들에게 설명하고 의견을 듣는 등 지역주민의 의견을 최대한 설계에 반영시키는 것이 중요하다.

농도의 구성은 노체, 노상, 포장(노반, 기층, 표층), 갓길, 배수 공사, 주요 구조물, 부대 구조물, 교통안전시설, 교통 관리 시설로 구성되어 있으며 각 시설의 기능 및 분류의 개요는 다음과 같다.

3.3.1. 노체

노체는 성토의 노상 이외의 부분을 말하며, 노상, 노반 등의 상부를 지지하는 역할을 하는 부분이다.

3.3.2. 노상

노상은 하층 노반 밑면에서 깊이 1m의 흙 부분을 말한다. 연약 지반을 개량한 노상의 전부 또는 일부를 좋은 재료로 대체하거나 석회 또는 시멘트 안정처리된 부분, 미세 동상억제층 등은 노상에 포함된다.

3.3.3. 포장

포장은 노면에 추가된 교통 하중을 안전하게 노상에 분산, 전달하는 역할을 가지고 있으며, 일반적으로 표층, 기층, 노반으로 이루어지며, 노상 위에 구축된다. 노반은 일반적으로 상층 노반과 하층 노반으로 분류된다.

3.3.4. 길어깨

길어깨는 도로의 보호 외에도 주요 구조부 보호를 목적으로 하고 있으며 측방 여유 폭으로 교통안전, 쾌적성에 기여하고, 자재, 농산물의 하역 등 차량이 운행하거나 농사 기계 진입이 예상되는 경우에 설치된다.

3.3.5. 배수

공사 배수 공법은 도로 및 인접부의 배수, 노반, 노상 배설체는 농도가 필요한 기능과 안전성을 가지며, 경제적인 시설이 되도록 함과 동시에 환경과의 조화 및 경관에 배려하면서 진행해야 한다.

Fig. 3은 농도에 대한 포장 재료별 포장단면의 구성 예시이다.

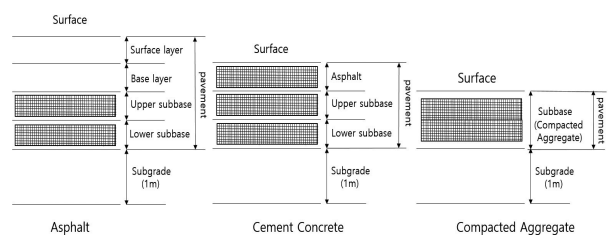


Fig. 3 Example of Pavement Sections by Pavement Type (Agriculture, forestry and fisheries, 2004)

포장 공종은 포장 재료에 의해 아스팔트 포장, 콘크리트 포장, 토사계 포장 등으로 분류된다. 포장 공종의 선정에 있어서는 농도의 종류, 이용형태, 지형자료 등을 감안하여 교통안전, 편안함, 경제성, 시공성 및 유지 관리를 검토하고 각 공종의 특성을 충분히 고려하여 적절히 선정한다.

포장의 단면 구성은 일반적으로 표층, 기층 및 노반으로 이루어지며, 노상 위에 만들어진다.

표층은 포장 상단에 있고, 아스팔트 또는 콘크리트로 피복하여 교통 차량에 의한 마모에 저항하고 노면을 평탄하게 하여 쾌적한 주행과 농산물 손상 등을 고려한 층

을 말한다.

기층은 볼륨을 보정하고 표층에 가해지는 하중을 균일하게 노반에 전하는 기능을 가지고 있으며, 일반적으로 아스팔트 혼합물에 건설된다. 포장 두께가 얇은 경우는 기층을 마련하지 않는 경우도 있다.

노반은 노면에 가해지는 하중을 노상에 완화하여 전하는 기능을 가지고 아스팔트 포장과 콘크리트 포장은 일반적으로 하층 노반과 상층 노반으로 나뉜다. 하층 노반에는 현지에서 경제적으로 얻을 수 있는 재료가 일반적으로 사용되지만 이러한 현지 재료를 사용할 수 없는 경우에는 시멘트, 석회 등으로 안정적인 처리를 실시한다. 상층 노반에서는 아스팔트 포장의 경우 입도 조정, 시멘트 안정 처리, 석회 안정 처리 및 역청 하락 정 처리 등의 공법이 사용되고, 콘크리트 포장의 경우에는 입도 조정 및 시멘트 안정 처리 공법이 사용된다.

마모층은 아스팔트 포장의 경우 필요에 따라 마모와 차량 미끄러짐을 방지할 목적으로 마모용 혼합물을 이용하여 설치되는 층을 말한다.

국내의 포장설계 지침서 및 단면 구성 검토 결과 국내의 부체도로 포장 설계에 필요한 설계변수는 다양한 공법별 재료 규정과 교통량 특성, 도로폭원 및 단면최소두께, 시공성을 고려하여야 한다.

4. 국내 부체도로 현장조사

4.1. 국내 부체도로 현황

최근 5년간 국내의 부체도로 현황은 부체도로와 연결된 주도로 총연장 478.33km중 137.93km로 약 28.8%로 적지 않은 비중을 차지하고 있다. 대부분이 고속도로와 연결된 부체도로이며 국도, 지방도, 시도 등 다양하게 분포하고 있다. Table 2는 최근 5년간 노선종류별 부체도로 현황을 나타낸다.

Table 2. Rural Access Road Status 5 Years

Type	Number of route	Total length (km) (1)	Number of section (2)	Rural access road length (km) (3)	(3)/(1)	(3)/(2) (m)
Highway	15	425.61	572	122.56	28.8%	214
National road	4	27.16	61	10.68	39.3%	175
Provincial road	4	20.70	25	4.49	21.7%	179
City road	1	4.86	4	0.20	4.2%	51
Sum	24	478.33	662	137.93	28.8%	-

4.2. 대표구간 선정

Table 3의 구간들 중 관할 담당자 및 문헌조사를 통하여 부체도로로 개설된 도로를 대표구간으로 선정하였다. 대표구간은 총 12개소로 전라북도 지역 7개소, 경기도 3개소, 서울특별시 2개소를 선정하여 교통량 조사 및 표면조사를 실시하였다. 전라북도 지역과 경기도 지역은 최근 도로신설로 인하여 부체도로 활용빈도가 높을 것으로 예상되어 조사구간으로 선정하였으며, 서울특별시 지역은 부체도로 중 아스팔트포장이 적용된 구간으로 선정하였다.

국내 부체도로의 특성상 교통량이 매우 적고 장비를 통한 교통량 조사가 어려우며 인력을 통한 주기적인 조사가 불가능하다. 따라서 대표구간 12개소의 교통량 조사는 평일 중 1일 12시간을 조사하여 평균교통량으로 가정하였으며 인력조사를 통해 차종을 4종(승용차, 버스, 트럭, 복합트럭)으로 분류하여 실시하였다. 조사결과 Table 3과 같다.

Table 3. Test Section

Section		Car	Bus	Truck	Compound truck	Sum
Jeonbuk	Jeonjusi deogjingu	4	0	4	0	8
	Gimjesi baeggumyeon	16	0	16	4	36
	Gunsansi daeyamyeon	12	0	16	0	28
	Mjugun bunamyeon1	4	0	4	0	8
	Mjugun bunamyeon2	6	0	12	0	18
	Wanjugun samlyeub	4	0	6	0	10
	Wanjugun gu-imyeon	4	0	10	0	14
	Mjugun jeogsangmyeon	82	0	28	6	116
Gyeonggi-do	Pajusi pajueub	0	0	2	0	2
	Pajusi jolieub1	0	0	1	0	1
	Pajusi jolieub2	1	0	0	0	1
Seoul	Geumcheongu gasandong	30	245	20	0	295
	Seochogu seochodong	20	0	0	0	20

4.3. 표면상태 조사

대표구간 12개소 중 인접도로 공사로 인한 진입 통제

로 2개소를 제외한 10개소에 ASTM D 6433의 파손유형 및 PCI조사 기준을 바탕으로 현재 부체도로의 표면상태를 파악하고 이를 통해 부체도로의 시공년도를 추정하였다. 잔존수명산출 시스템이 없는 Micro PAVER에서 시공년도 예측을 위해 콘크리트 포장의 수명 20년을 고려하여 연간 PCI값이 평균 5씩 떨어지는 것으로 가정하여 시공년도를 추정하였다. PCI조사결과와 추정한 시공년도는 Table 4와 같다.

Table 4. PCI(Pavement Condition Index) and Predict Construction Time of Test Sections

Section		PCI	Predict construction year
Jeonbuk	Jeonjusi deogjingu	71	2010
	Gimjesi baeggumyeon	26	2001
	Gunsansi daeyamyeon	66	2009
	Mujugun bunammyeon1	76	2011
	Mujugun bunammyeon2	85	2013
	Wanjugun samlyeub	88	2013
	Wanjugun gu-imyeon	N/A (under construction)	
	Mujugun jeogsangmyeon	N/A (under construction)	
Gyeonggi-do	Pajusi pajueub	65	2009
	Pajusi jolieub1	70	2010
	Pajusi jolieub2	88	2013
Seoul	Geumcheongu gasandong	31	2009
	Seochogu seochodong	100	2016

조사결과 PCI값이 가장 높게 나타난 구간인 서초구 서초동은 표면상태 조사결과 균열이 존재하지 않았으며 포장상태 또한 매우 우수하였다. 적게 나타난 구간인 김제시 백구면은 대표 구간 중 교통량이 비교적 평균값임에도 불구하고 가장 적은 PCI값을 나타낸다. 이것은 김제시 백구면 부체도로를 이용하는 인접공장의 지속적인 중차량 하중의 영향으로 포장상태가 현저히 감소된 것으로 추정된다.

결과적으로 PCI조사 결과 최하위 구간인 김제시 백구면을 제외한 구간에서는 환경에 의한 영향이 가장 큰 것

으로 나타나며 김제시 백구면은 하중에 의한 요인이 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 부체도로에서 교통량에 의한 파손보다 환경적 요인에 의한 파손이 큰 것이며 예외적으로 인접 공장과 같은 중차량 하중이 존재하는 구간에 대해서는 교통량을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4.4. 공용성 분석

4.4.1. KPRP(한국형 포장설계법)

본 연구에서는 1등급 아스팔트 및 콘크리트의 재료적 물성을 실제 실험을 통해 입력하여 공용성 해석을 진행하였고, 2등급 아스팔트 및 콘크리트의 재료적 물성을 실험이 아닌 기본DB를 활용하여 공용성 분석을 수행하였다.

KPRP 콘크리트도로에 대해 1등급으로 기본물성치를 활용하여 공용성 분석을 진행했으며 기존 IRI 및 피로 균열의 값이 아닌 최대값으로 설정하여 진행하였다. 또한 아스팔트 구간이 존재하지 않아 각 콘크리트 도로의 값을 기준으로 아스팔트라 가정하여 분석을 수행하였고(1등급, 2등급), 아스팔트 또한 원래 기본 한계값이 아닌 최대 한계값으로 분석이 진행되었다. 경기도 파주를 제외한 나머지구간의 지하수위가 낮아 동상방지층 설계를 하지 않았다.

Table 5는 분석결과로서 대다수의 구간에서 공용성능 기준을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

4.4.2. KENLAYER를 통한 잔존수명 산정

현재 공용 중인 부체도로의 잔존수명을 역학적-경험적 개념을 사용하여 예측하였다. 콘크리트 포장의 부체도로를 아스팔트포장으로 가정하여 포장층의 탄성계수를 역산하였다. 이를 통하여 포장체의 현재 구조적 상태를 규명하였고, 이 값들은 구조해석 프로그램에 입력되어 포장체 내부에서 발생하는 응력과 변형률의 계산에 사용되었다. 포장체 구조해석은 대표적인 도로포장체 다층탄성해석 KENLAYER 프로그램을 이용하여 수행하였다.

포장체 구조해석을 위해서는 재하하중, 포장층 두께, 포장층 탄성계수의 입력변수가 필요하다. 차바퀴에 재하되는 하중은 40kN, 접지반경은 15cm로 가정하였다. 포장층의 두께는 일반적인 부체도로 포장을 반영하여 표층 5cm, 기층 10cm, 보조기층 두께는 20cm로 가정하였다. 아스팔트층 탄성계수는 도로포장구조설계해설서(2011)의 아스팔트층별 탄성계수를 적용하였으며 계산

Table 5. KPRP(Korea Pavement Research Program) Analysis Result

Asphalt(Grade 1)						
Section	Design standard and performance					
	Crack rate(%)		Rut depth (cm)		IRI (m/km)	
	standard	performance	standard	performance	standard	performance
Pajusi pajueub	30	1.1	3	0.52	5	2.9
Wanjugun samlyeeub	30	2.9	3	0.73	5	3.1
Jeonjusi deogjingu	30	2.1	3	0.67	5	3
Gimjesi baeggumyeon	30	13	3	1.04	5	3.8
Gunsansi daeyamyeon	30	6.4	3	0.87	5	3.3
Mujugun bunammyeon	30	5.1	3	0.83	5	3.2
Wanjugun gu-imyeon	30	4.4	3	0.8	5	3.2
Mujugun jeogsangmyeon	30	17.7	3	1.13	5	4.2
Asphalt(Grade 2)						
Section	Design standard and performance					
	Crack rate(%)		Rut depth (cm)		IRI (m/km)	
	standard	performance	standard	performance	standard	performance
Pajusi pajueub	30	0.7	3	0.15	5	2.7
Wanjugun samlyeeub	30	3	3	0.28	5	2.9
Jeonjusi deogjingu	30	2.2	3	0.26	5	2.8
Gimjesi baeggumyeon	30	13.7	3	0.4	5	3.6
Gunsansi daeyamyeon	30	6.7	3	0.34	5	3.2
Mujugun bunammyeon	30	5.4	3	0.32	5	3.1
Wanjugun gu-imyeon	30	4.6	3	0.31	5	3
Mujugun jeogsangmyeon	30	18.7	3	0.44	5	4
Concrete (Grade 1)						
Section	Design standard and performance					
	Crack rate(%)		Rut depth (cm)			
	standard	performance	standard	performance		
Pajusi pajueub	30	0.7	3	0.15		
Wanjugun samlyeeub	30	3	3	0.28		
Jeonjusi deogjingu	30	2.2	3	0.26		
Gimjesi baeggumyeon	30	13.7	3	0.4		
Gunsansi daeyamyeon	30	6.7	3	0.34		
Mujugun bunammyeon	30	5.4	3	0.32		
Wanjugun gu-imyeon	30	4.6	3	0.31		
Mujugun jeogsangmyeon	30	18.7	3	0.44		

된 응력과 변형률을 이용하여 설계기간동안 허용되는 교통량을 산정하였다. 적용한 탄성계수는 범위 중 최소 값으로 사용하였으며, 다음 Table 6과 같다.

Table 6. Elastic Factors

Type	E^{min} (MPa)
Surface	2254
Subbase	60
Subgrade	39

또한, 포장체 내부 응력과 변형률의 계산을 4계절로 나누어서 수행하였다. 본 계산을 위하여 겨울철 대표온도는 6℃, 봄과 가을철은 25℃, 그리고 여름철은 45℃로 가정하였다. 따라서 각 계절별로 탄성계수를 대표온도에 대하여 보정하여 아스팔트층 하부의 인장변형률과 노상층 상부의 압축변형률을 포장체 구조해석 프로그램을 이용하여 계산하였다. 아스팔트층 하부의 인장변형률은 아스팔트층의 피로균열의 주원인이며, 노상층 상부의 압축 변형률은 노상층의 소성변형에 크게 영향을 미친다.

아스팔트층 피로균열에 의한 포장체의 허용교통량은 Asphalt Institute의 피로균열 모형식을 이용하여 계산하였다.

$$N_f = 0.0796(\epsilon_{ac})^{-3.219}(E_{ac})^{-0.854}$$

여기서, ϵ_{ac} = 아스팔트층 하부의 인장변형률

E_{ac} = 아스팔트층의 탄성계수 (psi)

노상층의 소성변형에 따른 허용교통량은 Asphalt Institute의 소성변형 모형식을 사용하여 계산하였다.

$$N_f = \left(\frac{1.05 \times 10^{-2}}{\epsilon_{sg}} \right)^{4.4843}$$

여기서, ϵ_{ac} = 노상층 상부의 압축변형률

등가단축하중(ESAL)은 혼합교통의 다양한 영향인자를 일원화하기 위해 표준축하중(18,000lb)으로 환산한 축하중을 말한다. AASHTO 포장 설계에서는 표준단축하중과 임의 축하중과의 관계를 나타내는 등가단축하중 환산계수(ESALf)를 결정하여, 환산누계등가교통량을 산정한다. 환산누계등가교통량을 산정하기 위해 본 과업에 적용된 등가단축하중(ESAL)은 아래와 같은 입력변수를 적용하였다. 트럭계수는 AASHTO 설계법에서 제시하고 있는 자료를 참고하여 도심지역 Collectors Minor 트럭계수(0.12)를 이용하였다.

- ① 일평균교통량 : Table. 7에서 제시
- ② 트럭비율 : 100%
- ③ 교통량 증가율 : 4
- ④ 차로분배계수 : 1
- ⑤ 트럭계수 : 0.12

입력변수를 Eq. (1)에 적용하여 등가단축하중(ESAL)을 계산하였으며, 10년 설계기간 본 구간의 등가단축하중(ESAL)은 구간별로 Table 8에서 제시하였다.

$$ESAL = (ADT)(T)(TF)(G)(Y)(L) \times 365 \quad (1)$$

ADT : 일평균교통량 (대/일)

T : 트럭비율(%)

TF : 트럭계수

G : 교통량 증가지수

Y : 설계수명(년)

Table 7. AASHTO Truck Factors (Yang H. Huang, 1993.)

Rural systems						
Collectors						
Vehicle type	Interstate	Other principal	Minor arterial	Major	Minor	Range
Single-unit trucks						
2-axle 4-tire	0.003	0.003	0.003	0.017	0.003	0.003-0.017
2-axle 6-tire	0.21	0.25	0.28	0.41	0.19	0.19-0.41
3-axle or more	0.61	0.86	1.06	1.26	0.45	0.45-1.26
All single units	0.06	0.08	0.08	0.12	0.03	0.03-0.12
Tractor semitrailers						
4-axle or less	0.62	0.92	0.62	0.37	0.91	0.37-0.91
5-axle ^b	1.09	1.25	1.05	1.67	1.11	1.05-1.67
6-axle or more ^b	1.23	1.54	1.04	2.21	1.35	1.04-2.21
All multiple units	1.04	1.21	0.97	1.52	1.08	0.97-1.52
All trucks	0.52	0.38	0.21	0.30	0.12	0.12-0.52
Urban systems						
Vehicle type	Interstate	Other freeways	Other principal	Minor arterial	Collectors	Range
Single-unit trucks						
2-axle 4-tire	0.002	0.015	0.002	0.006	-	0.006-0.015
2-axle 6-tire	0.17	0.13	0.24	0.23	0.13	0.13-0.24
3-axle or more	0.61	0.74	1.02	0.76	0.72	0.61-1.02
All single units	0.05	0.06	0.09	0.04	0.16	0.04-0.16
Tractor semitrailers						
4-axle or less	0.98	0.48	0.71	0.46	0.40	0.30-0.98
5-axle ^b	1.07	1.17	0.97	0.77	0.63	0.63-1.17
6-axle or more ^b	1.05	1.19	0.90	0.64	-	0.64-1.19
All multiple units	1.05	0.96	0.91	0.67	0.53	0.53-1.05
All trucks	0.39	0.23	0.21	0.07	0.24	0.07-0.39

Table 8은 대표구간 부체도로의 일평균교통량과 10년간 ESALs, 그리고 구간별로 피로균열에 의하여 파손되기까지의 계산된 허용교통량인 5,393,484를 적용하였다.

구간별로 피로균열에 의하여 파손되기까지 허용교통량을 계산한 후 실제 교통량을 비교하여 부체도로 대표구간의 향후 잔존수명을 산정하였다.

Table 8. Allowable Traffic Volume of Representative Section

Section		Average daily traffic	Annual average traffic (10years ESALs)	Annual average traffic (20years ESALs)
Jeonbuk	Jeonjusi deogjingu	8	1,752	3,504
	Gimjesi baeggumyeon	36	6,938	13,876
	Gunsansi daeyamyeon	28	6,990	13,981
	Mujugun bunammyeon1	8	1,752	3,504
	Mujugun bunammyeon2	18	5,282	10,565
	Wanjugun samlyeeub	10	2,628	5,256
	Wanjugun gu-imyeon	14	1,778	3,557
	Mujugun jeogsangmyeon	114	11,484	22,969
Gyeonggi-do	Pajusi pajueub	2	876	1,752
	Pajusi jolieub1	1	438	876
	Pajusi jolieub2	1	438	876
Seoul	Geumcheongu gasandong	295	29,718	59,437
	Seochogu seochodong	20	2,015	4,030

4.5. 잔존수명 산정

부체도로 대표구간의 아스팔트포장 가정을 통한 잔존수명을 산정하기 위하여 Table 8을 토대로 피로파괴에 의한 허용교통량과 연평균교통량을 나눈 결과는 다음 Table 9와 같다.

Table 9. Remaining Life of Test Sections

Section		Average annual traffic	Remaining life(year)
Jeonbuk	Jeonjusi deogjingu	175.2	30785
	Gimjesi baeggumyeon	693.8	7774
	Gunsansi daeyamyeon	699	7716
	Mujugun bunammyeon1	175.2	30785
	Mujugun bunammyeon2	528.2	10211
	Wanjugun samlyeeub	262.8	20523
	Wanjugun gu-imyeon	177.8	30335
	Mujugun jeogsangmyeon	1148.4	4697

Gyeonggi-do	Pajusi pajueub	87.6	61570
	Pajusi jolieub1	43.8	123139
	Pajusi jolieub2	43.8	123139
Seoul	Geumcheongu gasandong	2971.8	1815
	Seochogu seochodong	201.5	26767

추정한 잔존수명은 대부분에 과도하게 많이 남아 있음을 알 수 있었다. 교통량이 가장 많은 구간인 서울특별시 금천구에서 잔존수명이 가장 적으며 교통량이 가장 적은 경기도 지역에서 가장 많은 잔존수명이 산정되었다.

5. 부체도로 포장 단면 설계기준

5.1. 부체도로의 포장 단면설계 검토

현재 획일적으로 사용되는 부체도로 포장두께에 대한 도로특성을 고려하여 경제적인 포장두께를 검토하기 위해 현 설계기준에 따른 포장두께 검토 후 시멘트 콘크리트와 아스팔트 콘크리트 포장에 대한 단면 재설계를 통해 수정안을 제시하였다.

콘크리트의 설계기준휨강도(농업생산기반 정비사업 계획 설계기준, 농림수산식품부)에 의한 콘크리트슬래브의 두께는 교통량에 따라 다음의 Table 10의 값을 표준으로 한다.

Table 10. Initial Design(Plan) Thickness of Concrete Pavement Slab

Traffic type	Average daily heavy traffic volume	Concrete slab thickness(cm)
L(0)	only light traffic volume	12
L(1)	less than 15	15
L(II-1)	15 ~ 40	15
L(II-2)	40 ~ 100	15(20)*
A(III)	100 ~ 250	20(25)*
B(IV)	250 ~ 1000	25
C	1000 ~ 3000	28
D	More than 3000	30

* (): Thickness designed with design bending stiffness 40kgf/cm³ at traffic type II-2, III

5.2. 부체도로의 포장 단면 설계기준

현재 국내 부체도로 설계는 일괄적인 부체도로 단면기준을 적용하고 있으나, 부체도로적용 대상구간 특성에 맞추어 과다 또는 과소 설계가 되지 않도록 해야 한다.

일반 콘크리트 포장의 경우, 대상지역 거주 주민들의

선호도에 따라 다수 적용되고 있는 실정이나, 폭이 상대적으로 좁은(B=5m 이내) 도로의 경우는 일반적으로 인력포설로 시공하고 있으며, 이로 인해 단가가 상승함은 물론 품질관리에도 어려움이 있다. 따라서 부체도로의 경사도에 따른 구분이 필요하다. 또한 교통량에 따라 부체도로의 단면기준이 설계되어야 하나, 교통량과 무관하게 시멘트 콘크리트 포장과 아스팔트 콘크리트 포장 2종의 일괄적 표준단면기준을 적용하고 있다. 일일 통과 교통량(트럭, 버스, 농기계)에 대한 조사를 통한 일반적인 부체도로의 교통량 산정에 대한 기준 작성이 필요한 것으로 판단되어 실제 현장조사를 진행하였으나 조사결과 교통량이 극소하여 교통하중에 의한 파손보다 환경하중에 의한 파손을 고려하여야 한다. 단, 중차량 하중의 발생 가능성이 있는 구간에 대해서는 교통하중에 의한 파손이 주된 원인이 될 수 있으므로 설계기준의 작성 시 별도의 구분이 필요하다.

포장재료는 현재 아스팔트 콘크리트와 시멘트 콘크리트 포장으로만 적용 가능하도록 기준이 작성되어 있으나, 표준단면을 살펴보면 교통량과 이용도 대비 과도한 포장재료와 단면설계 적용에 따른 시공 난이도 등으로 경제성과 시공성 두 가지 측면에서 어려움이 존재한다.

이상의 내용을 고려했을 때 부체도로는 저가의 재료와 시공이 용이하면서 이용도에 대비한 안전성, 내구성, 친환경성이 충분한 재료를 적용해야 할 것이다.

따라서, Chip Seal, Slurry Seal, Micro-surfacing 등 예방적 유지보수공법 및 재활용 상운아스콘 등 친환경성을 고려한 공법의 적용도 검토할 필요가 있다.

초기설계(안)은 5년 후의 대형차의 1일 추정통과 대

수로 하되, 1차선의 경우는 1일 2방향의 합계대수, 2차선의 경우는 1일 1방향의 통과대수로 하며 5등급(L, A, B, C, D)으로 교통량을 구분할 것을 제안하였으나 현장조사 결과 교통량이 극소할 뿐만 아니라 실제 설계 시 고려할 교통량의 확보가 어려움을 고려할 때 환경하중을 적용한 새로운 설계(안)은 다음 Table 11과 같다.

초기설계(안)의 교통량분류에 따른 설계 기준의 적용은 실제 교통량이 극소한 부체도로에 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 현실적인 부체도로의 교통량 및 환경을 고려하여 새로운 설계(안)을 제시하였으며, 경제성 분석을 통해 타당성을 확보하고자 하였다.

5.3. 경제성 분석

일반적으로 건설공사는 기획, 설계에서부터 자재 조달 및 시공, 공용 후의 유지관리와 공용 수명이 다하여 해체 및 폐기로 이어지며, 이러한 생애주기 각 단계별로 비용이 발생하는데, 발생하는 비용의 합을 생애주기비용(Life Cycle Cost)이라 한다. 생애주기비용은 기획설계 비용(Planning and Design Cost), 공사시공비용(Construction Cost), 시설물 운영 및 관리에 필요한 운영관리비용(Operation Maintenance Cost), 그리고 시설물로부터 더 이상 서비스를 제공받을 수 없을 때 시설물 해체에 필요한 해체 및 폐기처분비용(Disposal Cost)으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 부체도로에 대한 생애주기비용분석을 위하여 미연방도로국(Federal Highway Administration, FHWA)에서 개발한 Realcost v.2.5를 활용하였다. Realcost v.2.5 프로그램은 생애주기(공용수명)동안 여러 변수를 고려하여 관리자 비용과 사용자 비용을 산출할 수 있다. 본 연구에서 생애주기비용 분석을 위하여 사용한 항목들은 다음과 같다.

5.3.1. 교통량 데이터

분석구간에 대한 기본적인 교통량 자료는 2016년 10월 현장 교통량 조사를 통하여 구간별 AADT, 시간별 AADT, AADT의 트럭 비율, AADT의 트럭 및 버스 비율을 산정하였으며, 교통량과 관련된 입력설정(Input Value)은 2007년도에 미국 캘리포니아 DOT(State of California Department of Transportation, Caltrans)에서 개발한 생애주기비용분석 절차 매뉴얼(Life-Cycle Cost Analysis Procedures Manual)에서 평지(Level)의 경우를 적용하였다.

Table 11. Rural Access Road Pavement Section and Thickness Design Guide (Interim)

Environmental factor	Width (m)	Pavement type	Maintenance method
High traffic (common surface)	5	Cement concrete slab 20cm subbase layer 20cm	Chip Seal Slurry Seal Micro surfacing (Surface treatment)
Normal traffic (common surface)	3~5	Cement concrete (slab 15cm, subbase layer 15cm)	
		Asphalt concrete surface 5cm, base layer 10cm subbase layer 20cm	
Low traffic (low cost surface)	3~4	Cold asphalt +(Surface treatment)	
		Compacted aggregate	

5.3.2. 사용자 시간가치 설정

사용자의 시간가치(Value of user time)는 통행시간 가치(value of travel time)라고도 하는데 공사나 사고 등으로 인하여 발생된 지·정체 때문에 구간을 통행하는 시간이 증가함에 따라 산업활동 및 여가활동에 참여하지 못하는 동안의 시간의 가치를 비용으로 산출한 것이다. 본 연구에서는 공사구간 지체비용 산정과 유지보수 기준 선정 방안(도명식, 2010)에서 인용하여 사용하였다.

5.3.3. 지·정체에 의한 시간 및 비용 설정

지·정체에 의한 시간 및 비용(Added Vehicle Time and Cost)은 공사나 사고 등으로 인하여 발생된 지·정체 때문에 구간을 통행하는 시간이 증가함에 따라 차량의 운행시간이 증가하는 것에 대한 시간과 이에 따라 발생하는 비용을 산출한 것이다. NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)에서는 지·정체에 의한 시간 및 비용을 1,000대의 차량이 특정한 속도에서 변화하여 다시 본래의 속도로 회복될 때 발생하는 지연시간과 이에 따른 차량운행비용을 기초로 하여 산정하고 있는데 Realcost v.2.5에서는 NCHRP의 결과가 2015년 기준으로 설정(Default)되어 있다.

5.3.4. 분석기간 설정

미연방도로국(Federal Highway Administration, FHWA)에서는 생애주기비용 분석기간(Analysis Period)을 일반적으로 35년에서 40년을 제안하고 있지만 본 연구에서는 30년으로 결정하였다.

5.3.5. 작업구간의 주행속도 설정

작업구간의 주행속도(Work Zone Speed)는 작업구간, 노선, 지역, 환경 및 산업기반 등에 따라서 다르게 결정될 수 있는데 본 연구에서는 부체도로의 특성을 고려하여 작업구간주행속도를 16km/h로 적용 분석하였다.

5.3.6. 할인율 설정

시설물의 편익(Benefits)과 가치(Value)는 한 시점에 서만 발생하는 것이 아니라 시설물이 공용되는 기간 동안 발생하는 것인데 시설물의 미래가치(Future Value)를 현재가치(Present Value)로 환산하는데 사용되는 것이 할인율(Discount rate)이다. 미연방도로국에서는 생애주기비용분석 시 일반적으로 3~5%의 할인율을 적용하는 것을 제안하고 있으며 본 연구에서는 중점관리구간의 유지관리비용 및 시나리오 분석 등에서 평균 할인율 4.0%를 적용하였다.

5.3.7. 작업일수 결정

생애주기비용분석에서 작업일수(Work Zone Duration)는 사용자 비용 산출에 상당히 큰 비중을 차지하고 있는 항목이나 교통량이 극소한 부체도로의 특성상 아스팔트 및 콘크리트 포장의 시공량을 다음과 같이 결정하였다.

- 아스팔트포장공법 및 시멘트 콘크리트포장공법 1일 시공량 : 5,000m²

※ 실제 시공량에 따른 사용자 비용 (User cost)의 차이가 존재하지만 그 영향이 미비하므로 가정하여 사용

5.3.8. 작업시간 결정

생애주기비용분석에서 작업시간(Work Zone Hours)은 사용자비용 산출에 상당히 큰 비중을 차지하고 있는 항목으로 신규포장 및 재포장, 초박층 유지보수 전략은 부체도로의 특성으로 인해 주·야간작업으로 진행되는 것으로 결정하였다.

- 아스팔트 및 시멘트 콘크리트 전략: (00:00~익일 00:00)
- 초박층 유지보수 전략: 야간작업(00:00~익일 04:00)

5.3.9. 대안 결정

경제성 분석에서 대안의 경우 아스팔트 포장의 절삭 덧씌우기, 아스팔트포장 후 MS공법(마이크로서페이싱), 칩실, 슬러리실 등의 초박층 보수공법을 1차 대안으로 결정하였으며 부체도로 경제성 검토의 단면도에 현 설계기준인 콘크리트 슬래브 20cm, 보조기층 20cm 설계 및 15cm, 15cm의 검토안을 비교대안으로 결정하였다. 또한 공장 부근 등의 중차량 하중 발생 예상 지역과 일반적인 차량하중의 발생 지역을 2차 대안으로 선정하였다.

분석 결과 아스팔트 공법별 비교 분석 및 경제성 분석은 Fig. 4와 같다.

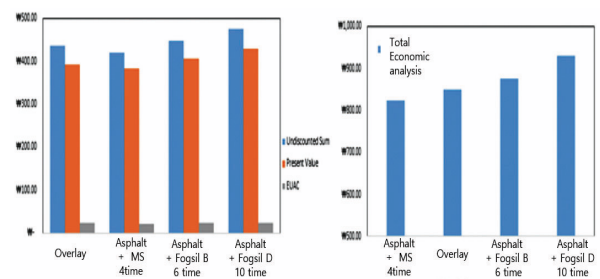


Fig. 4 Comparative Analysis and Comprehensive Economical Analysis of Asphalt Process

콘크리트 포장 두께 및 아스팔트 포장의 비교분석 그리고 종합 경제성 분석은 Fig. 5와 같다.

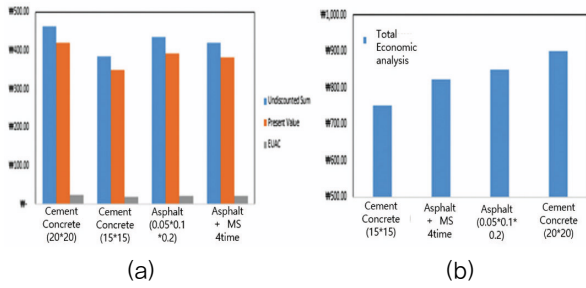


Fig. 5 (a) Comparative Analysis of Concrete Pavement and Asphalt Pavement (b) Comprehensive Economic Analysis

콘크리트 및 아스팔트 포장, 초박층 보수공법의 각 공용수명별 경제성 및 교통량에 따른 분석 결과 콘크리트 포장(15×15)의 경제성이 가장 우수하였다. 아스팔트 포장의 경우 예방적 유지보수공법인 Micro-surfacing 공법을 4회 추가(아스팔트 콘크리트 포장 10년 주기 1회와 MS 공법 4.5년 주기로 4회 실시)한 방안이 가장 경제적인 것으로 분석된다. 중차량의 통행이 예상되는 지역의 경우 보수공법이 용이한 아스팔트 포장이 유리하고 그 외의 일반 지역의 경우는 콘크리트 (15×15)포장을 진행하는 것이 경제적인 것으로 판단되나, 공용수명에 대한 분석 결과값이 없으므로 보다 정확한 경제성 분석을 위해서는 공용성 분석 결과를 추가적으로 시행하여 결과에 반영하여야 한다.

다음의 Fig. 6은 각 포장별 교통량에 따른 종합 경제성 그래프이다.

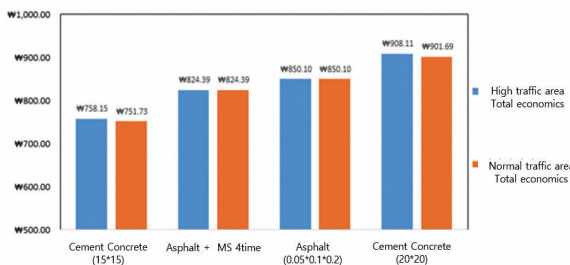


Fig. 6 Comprehensive Economic Analysis by Traffic Volume

6. 결론

통상 현장 실무자들은 부체도로에 대한 정의가 명확하지 않은 상태에서 현장여건 역시 고려되지 않은 확일

화 된 부체도로 표준단면도에 따라 설계 및 시공을 수행하고 있다. 본 연구에서는 국내의 부체도로 포장 설계 및 적용사례 조사 및 분석으로부터 부체도로에 대한 정의 및 부체도로 포장설계 시 고려되어야 할 변수를 제시하였다. 또한, 부체도로에 기존의 단순한 포장공법 이외에 경제적으로 효율적인 포장공법들이 적용 가능하도록 설계(안)을 제시하였다. 제시된 설계(안)에 대한 경제성 분석 결과 콘크리트 포장(15×15)의 경제성이 가장 우수하였으나, 중차량 통행으로 파손이 잦은 구간은 오히려 아스팔트 포장과 내구수명이 우수한 예방적 유지보수공법(4회)을 함께 적용한 설계(안)가 가장 경제적으로 분석되었다. 향후 예상되는 기대 효과는 경제성, 친환경성, 유지관리 용이성이 확보된 설계 및 시공이 시행될 수 있을 것이다.

본 연구의 결과로 국내의 설계지침 및 사례검토를 통한 설계기준(안)을 제안하였으나, 현장에서 적용할 수 있는 최종 설계기준을 작성하기 위해서는 다양한 부체도로 적용 현장의 포장층 하부 지지력을 산정하고, 부체도로에서 측정하기 어려운 일교통량의 산정, 다양한 선진 저가형 적정 공법 및 그에 대한 세부 적용기준과 함께 장기 공용성을 위한 유지관리 기준 및 기법이 함께 제안되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 “기후변화에 대비한 도로포장 시공 품질관리 시스템 개발 연구” 과제 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- American Association of State and Highway Transportation Officials(AASHTO; 1993). “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures”, Washington, D.C.: AASHTO.
- American Association of State and Highway Transportation Officials(AASHTO; 1998). “Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures Part II -Rigid Pavement Design and Rigid Pavement Joint Design”, Washington, D.C.: AASHTO.
- An Deok-soon, Kwon Soo-Ahn, and Suh Young-chan, 2003. “The Study On Customization for Domestic Application of Micro PAVER”, International Journal of Highway Engineering, Vol.5.3. 21-29.
- Do Myung-sik and Lee Yong-Jun, 2010. “Delay cost estimation and maintenance standard determination for work zone”, International Journal of Highway Engineering, 241-244.
- Japan agriculture and forestry fisheries, 2004.2. Japanese farmland design plan.
- Korea Expressway Corporation, 2009. Road design guide.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2012. Road design manual.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013. National Road Construction Design Practice Tips.

Ministry of land, Infrastructure and Transport, 2016. Development of road pavement construction quality management system for climate change.

SD Department of Transportation, 1996. Rural road design, maintenance, and Rehabilitation guide.

Seoul Metropolitan Government, 2015. "Final project report for the evaluation of field application of preventive maintenance methods in Seoul".

Yang H. Huang, 1993. "Pavement Analysis and Design".