

# 콘크리트 鋪裝의 現代的 設計 (下)

—Transportation Engineering Journal 1968. 8월호에서—

Phil Fordyce  
W.A. Yrjanson

## 疲 勞

固定荷重은 휨破壞強度 試驗係數를 위해 사용된다. 載荷比는 시험荷重이 破壞荷重의 반을 초과한 뒤에 每分當 150psi 이거나 그보다 작다. 그러한 시험은 3分點 載荷에 있어 약 550~750psi의 28日強을 나타낸다 (Astm Des C-78). 그러나 疲勞試點은 反復荷重이 破壞試驗係數에 의해 주어진 값보다 낮은 應力에서 콘크리트를 파괴할 것임을 보여 주고 있다. 콘크리트포장은 교통량에 의해 많은 反復荷重이 작용하기 때문에 콘크리트의 휨疲勞는 두께 설계에 있어 매우 重要하다.

疲勞研究에 관한 상세한 해석은 이 논문의 영역을 벗어난다. 그러나 두께 설계에 관련하여 연구결과를 요약한다는 것은 매우 유용한 일이 될 것이다. 이러한 목적으로 應力比의 定義, 疲勞強度, 耐久限界는 긴요한 것이다. 應力比는 極限, 固定荷重強度에 대한 反復應力의 비이다. 疲勞強度는 주어진 應力比에 대한 破壞反復回數이다. 疲勞抵抗에 있어 손실 없이 제한 없는 應力의 반복을 용납한다면 耐久限界는 콘크리트를 본질적으로 彈性體로 보는 最大應力

의 비이다. 이들 조건 사이의 관계는 <그림-9>에 표시되어 있는바 현재의 PCA 疲勞曲線에 관련되어 있다. 화살 點線은 應力比 0.64가 破壞前에 11,000 應力反復에 대한 疲勞強을 준다는 것을 나타낸다. 500,000 反復에서는 PCA 曲線은 직선이 되고 應力比 0.5에 대한 耐久限界를 나타낸다. 다음은 한정된 조건 하에서의 피로연구에 관한 요약으로서 <그림-9>는 피로曲線과 두께 설계에 관해 보여주고 있다. 1900年 以前 드조리(Dejoly)에 의한 프랑스의 연구는 콘크리트 덩어리에 대하여 每分 26~92 回數로 引張試驗을 하여 應力比 0.5에 있어서의 耐久限界를 밝혔다. 드조리는 또한 耐久限界 이상의 應力比로써 행한 시험을 통해 휴식기간이 없는 시험과 비교해볼 때 휴식기간에는 疲勞強이 증가하고 있음을 밝혀냈다. 이 사실과 다른 시험에서의 같은 발견은 포장 설계에 있어서 매우 중요한데 대부분의 차량이 0.5 이하의 應力比를 誘發하기 때문이고 應力比를 0.5 이상으로 유발하는 輪荷重 사이에는 한시간 또는 그 이상의 휴식기간이 있었다는 사실 때문이다.

美國에 있어 초기의 중요한 研究結果는 벤·오넘(Von Ornum)

에 의해 1907년에 발표되었다. 시험은 每分 2~8回的 載荷로서 5×5×12 in. 600푸리즘과 4×6×72 in. 보에 대하여 시행되었다. 이 시험은 應力比 0.55에 있어서의 耐久限界를 나타낸다. 다른 중요한 결과는 耐久限界 내외에서의 變形狀態에 있어 표시된 차이였다. 耐久限界 이상의 比로 시험된 試片은 증가하면서 永久的 塑性變形의 曲率과 각가지 특성을 가진 應力-變形그래프가 되었고 증가 變形은 破壞直前에 뚜렷한 하락과 함께 彈性的 점진적 減少가 수반되었다. 대조적으로 耐久限界 또는 그 이상의 應力比에 관한 시험에서 應力-變形曲線은 彈性狀態에 平行直線의 특성을 가졌고 彈性係數는 常數로 되어 시험기간중 그대로 남아 있었다.

벤·오넘의 결과는 美國과 다른 나라에서의 다른 疲勞研究에 의하여 입증되어 왔다. 광범위하고 주의 깊게 조절된 試驗은 푸롭스트(Probst)와 다른 사람들에 의해 獨逸의 칼스루에(Karlsruhe)에서 시행되었다. 칼스루에에서의 실험은 다음과 같은 점을 보여 주고 있다.

- (1) 0.5 내지 0.6에서의 耐久限界
- (2) 耐久限界以上の 非彈性상태
- (3) 내구한계 및 그 이하에서

의 彈性상태 (4) 내구한계 이하의 비에서 최초로 시험된 試片에 관한 보다 큰 疲勞強度 그리고 (5) 耐久限界 이상의 시험에 관한 疲勞強의 결과적 증가를 수반한 휴식기간중의 彈性的 회복.

美國에 있어 콘크리트의 疲勞強에 관한 중요한 연구는 베이츠 道路試驗의 추가된 결과를 가져온 일리노이 도로국 (Illinois Division of high way)에 의해 시행되었다. 시험보는  $6 \times 6 \times 36$  in 인데 中央 中部心로부터 캔테레바로서 지지되어 있었고 分當 40개 荷重이 중앙 중심부로부터 회전하는 車輪組立品에 의하여 보의 端部 근처에 載荷되었다.

道路條件에 좋은 假定이 있는바 이유는 荷重이 空氣타이어 바퀴에 의하여 載荷되고 應力の 應用間에 완전한 荷重의 解除가 있기 때문이다. 이 연구의 중요 결과는 다음과 같은 점이다.

① 콘크리트의 富配合은 貧配合보다 높은 疲勞強度와 내구한계 應力比를 나타낸다.

② 0.51과 0.54 사이의 應力比에 있어서의 내구한계

③ 耐久限界 이상의 非彈性상태와 내구한계 또는 그 이하에 있어서의 彈性상태

④ 내구한계 이상에서의 應力比의 증가는 疲勞의 감소를 가져온다.

⑤ 처음에 耐久限界 이하의 비로서 1,000,000 應力反復을 가하고 다음 높은 應力比에서 休息한 보들은 동등의 높은 비에서 시험한 새 보보다 疲勞強이 커짐을 나타낸다.

⑥ 방금 기술한 시험에 있어 보의 破壞단면에 생긴 破壞試驗係數는 耐久限界 이하의 비로서 처음으로 1,000,000 應力反復을 행한 보에 비해 더 큰 값이었다.

포장설계에 착안한 다른 중요한 疲勞研究는 퍼듀 대학교에서 필요한 지식을 얻기 위해 施行한 실험을 통해 하트(Hatt)와 크렘(Crepps)에 의하여 이루어졌다.  $4 \times 4 \times 30$  in 보에 대하여 각 荷重回數가 가해지는 동안 應力の 완전한 轉倒가 생기도록 전개되었다. 應力の 전도는 일리노이에서 행한 시험보다 더욱 정확히 道路交通量이 표시되도록 고려되었었다. 鋪裝荷重에 대하여 應力の 轉倒가 각가지로 변하는 정도가 있다. 그러나 轉倒應力の 크기는 결코 直接應力の 작은 단편보다 크지는 않다. 한편 완전한 轉倒應력과 轉倒가 있는 일리노이 방식 사이에 어느 곳에서 이루어진 시험으로부터 유용한 資料를 얻을 수 있는가를 불패 두 연구의 결과는 용케도 잘 일치하며 두께 설계에 있어 같은 정도로 有用하다. 퍼듀研究의 중요결과는 아래와 같다.

① 4개월된 보는 應力比 0.5~0.55에서 내구한계를 나타낸다.

② 6개월 이상된 보는 應力比 0.54~0.55에서 내구한계를 나타낸다.

③ 내구한계 이하의 비로서 행

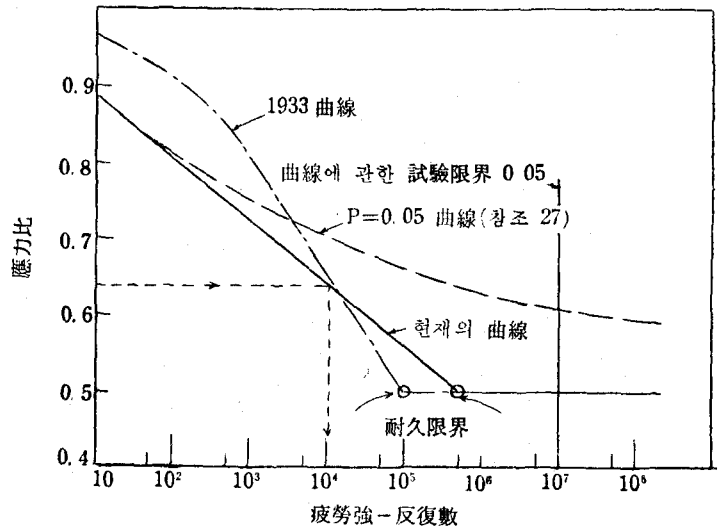
한 初期試驗은 6개월 이상된 보보다 내구한계 應力比가 증가한다.

④ 내구한계 및 그 이하에서의 彈性狀態와 내구한계 이상에서의 非彈性狀態

⑤ 내구한계 이상에 있어서의 應力比의 증가는 疲勞強을 감소시킨다.

⑥ 내구한계 이상에 있어 휴식 시간은 疲勞強을 증가시킨다.

중량차량이 지나는 도로에서까지도 應力比 0.5 또는 그 이상을 일으키는 荷重 사이에는 한 시간 또는 그 이상의 상대적으로 긴 休息時間이 있고 應力比가 0.1과 같은 낮은 荷重 사이에는 1分 또는 그 이상의 休息時間이 있다. 이 荷重 應力の 낮은 비는 耐久限界應力比와 疲勞強의 증가를 가져오는데 이 값은 現場疲勞研究에서 발견되었다. 때문에 應力比 또는 그보다 작은 耐久限界를 사용함은 타당한 것이라 볼 수 있는바 이때 0.5 또는 그보다 작은 비율을 일으키는 荷重의 疲勞저항에 있어 손실은 없는 것으로 한다. 그러한 취급법은 1930년 이래 콘크리트 두께 設計설시에 있어 수락할 수 있는 부분이 되어 왔다.



<그림-9> 콘크리트 휨疲勞에 관한 應力比, 疲勞強과 耐久限界

일리노이州와 퍼듀大學校로부터의 0.5 應力以上の 疲勞試驗 결과는 <그림-9>에서 보여주는 1933年の PCA 疲勞曲線을 작성토록 사용되었다. 이 곡선은 마이너 法則 (Minor Rule)을 사용한 設計 과정에 따른 것인데 道路와 고속道路 그리고 비행장에 대하여 믿을만한 두께設計를 보여 주고 있다.

마이너법칙은 耐久限界 이상의 應力反復에 應用되고 한 荷重의 반복사용에 의하는 것이 아닌 疲勞強度는 다른 荷重의 反復에 관하여 유용하다는 사실을 추측케한다. 이 법칙은 이 글에서 설명되는 設計과정의 한 부분이 된다.

1933年の 曲線은 포장의 설계와 검토에 좋은 기록을 지녔으나 최근의 疲勞研究는 수정을 고려하는 것이 현명할 것임을 보여준다. 이 研究는 1966년에 힐스돌프(Hilsdorf)와 케슬러(Kesler)에 의해 보고 되었다. 試驗結果는 포장설계에 있어서 중요한 것인데 그 이유는 疲勞試驗에 사용된 여러 應力比는 交通量에 의해 생기는 각 가지 應力에 유사하기 때문이다. 3分點 疲勞試驗은 6×6×4 in 보에 分當 440회를 反復시험하였는데 道路橋梁에 의한 응력에 관련해서는 매우 높은 비율이었다. 또한 荷重은 같은 방향으로 최대 및 최소 應力이 생기도록 載荷되었는데 그 결과 荷重 사이의 應力해제와 응력전도가 일어나지 않았다. 결점에도 불구하고 힐스돌프와 케슬러의 작업은 적절한 것이었고 때문에 그들의 시험은 개개의 시험을 통한 각 가지 應力에 대응하는 疲勞를 나타낸다.

疲勞試驗을 통한 각 가지 응력의 사용은 應力變化가 일정한 비임을 발견함에 대응해서 疲勞는 변화하였다. 각 가지 應力比에 관한 疲勞狀態를 나타내기 위해 전개한 방

### 콘크리트 鋪裝의 두께 設計에 관한 應力比와 許容 反復數

<表-7>

應力比 a (1)	許容 反復數 (2)	應力比 a (3)	許容 反復數 (4)
0.51	400,000	0.69	2,500
0.52	300,000	0.70	2,000
0.53	240,000	0.71	1,500
0.54	180,000	0.72	1,100
0.55	130,000	0.73	850
0.56	100,000	0.74	650
0.57	75,000	0.75	490
0.58	57,000	0.76	360
0.59	42,000	0.77	270
0.60	32,000	0.78	210
0.61	24,000	0.79	160
0.62	18,000	0.80	120
0.63	14,000	0.81	90
0.64	11,000	0.82	70
0.65	8,000	0.82	50
0.66	6,000	0.84	40
0.67	4,500	0.85	30
0.68	3,500		

a. 制限없는 反復은 應力比 0.5 또는 그 이하에서 허용된다.

정식과 假設은 포장설계에 사용하기에는 너무나 복잡하다. 그러나 일정한 가능곡선은 여러 應力疲勞 자료에 관한 마이너法則을 사용토록 전개되었다. 포장설계에 대한 가장 적절한 곡선은 0.05의 일정한 가능성을 가졌으나 그것은 100회의 疲勞試驗에 대하여 5회 보다 많지 않게 곡선 아래의 疲勞強을 나타낼 것이라 함을 뜻하는 것이다. 이 곡선은 <그림-9>에 재생되었는데  $P=0.05$  임을 입증한다.

$P=0.05$  曲線에서의 포장두께 계산은 유용한 결과를 제공하였고 1933년의 곡선에 대치되도록 고려되었었다. 그러나 힐스돌프와 케슬러는 그들의 연구가 설계에 당하여 0.05 곡선의 일반적 사용을 위하여는 너무 한정되어 있다고 보고하였다. <그림-9>에서 보여주는 현재의 PCA곡선은 두께설계에 채택되어 있다. 그 곡선은  $P=0.05$  曲線의 관계에 있어 명확히 온당하도록 그려졌다. 현재의 PCA曲線은 또한 일정 應力比에 있어서의

다른 類의 연구와 메리랜드道路試驗을 통하여 이루어진 疲勞試驗의 결과와 관련해서 온당한 것이다. 1933年 PCA曲線과 비교하여 현재의 PCA曲線은 약 0.63 이하의 應力比에 관해서는 疲勞強이 크고 0.63 이상의 應力比에 관해서는 疲勞強이 적음을 나타낸다. 현재의 PCA곡선에 관한 應力比와 許容反復數는 <表-7>에 주어져 있다. <表-7>의 값 사용은 뒤에 나오는 설계문제에서 설명하려 한다.

### 交 通 量

設計壽命을 통한 예상 輪荷重의 수와 증량은 두께 設計의 主因子이다. 이 요인을 계산하는 두 가지 방법이 記述되었다. 그러나 이 設計壽命을 통해 예상되는 輪荷重의 신뢰할만한 計算값을 제시하는 다른 方法이 사용되어도 무방할 것이다.

● 計劃——필요한 교통량데이터를 얻기 위한 한 방법은 연간 交通量增加比에 기초를 두는 것이다. 이

비율은 몇가지의 要因에 영향을 받는다. 도시의 성장에 따른 높은 比의 都市사이 및 都市의 노선은 豫想成長比 보다 높게 된다.

그러나 높은 비율은 住居地道路와 2車線 道路에 적용되지 않는데 그런 곳에서는 주기능이 토지사용에 있거나 인접 地域이 사용할 수 있게 하는 것이기 때문이다. 이러한 시설의 年例의 증가는 연간 2%를 넘지 않을 것이다.

州道路局의 計劃測量課는 교통량 성장과 계획인자에 관하여 유용한 지식의 원천이 될 것이다. 이 분야의 技術者들은 道路局에 의하여 설계된 계획에 대해 計劃因子를 결정한다. 그들은 또한 그들州內에서 다른 계획을 위해 믿을 만한 計劃因子를 결정하는데 도움을 줄수 있을 것이다.

年例 성장비와 대응하는 20년 計劃因子가 <表-8>에 주어져 있다. 다음에 나오는 설계문제에 있어 4%의 年例의 성장비와 대응하는 20년 計劃因子가 40년 設計壽命 交

<表-8> 計劃因子

年間交通量成長比 % (1)	20년 計劃因子 <sup>a</sup> (2)
1	1.2
1 1/2	1.3
2	1.5
2 1/2	1.6
3	1.8
3 1/2	2.0
4	2.2
4 1/2	2.4
5	2.7
5 1/2	2.9
6	3.2

a. 複合表 群(1+R)<sup>n</sup>에 근거한 것인데 여기서 R은 年例比이고 n은 年數이다.

通量 결정에 사용되어지곤 한다. 이것은 20年 계획으로 주어진 교통량이 40년간 일정하게 유지할 것으로 假定함을 뜻한다. 그 결과는 실제 교통량이 처음 20년 동안은 推定보다 적게 되고 후의 20년간은 추정보다 크게 될 것이라는 것이다. 일정한 年例比率로 20년 계획을 사용함은 실제의 趨勢와 일치하고 鋪裝壽命의 매년에 있어서의 交通量和 疲勞消耗를 推定하는데 소요되는 지루하고 시간낭비적인 작업을 미리 배제한다. 교통량 計劃方法의 정확성은 이런 類의 정확성을 정당화하지 않는다. 또한 그런 類의 정확성은 40년동안의 콘크리트強度 증가에 관한 진정한 평가를 내릴때 所要두께에 영향을 약간 미치거나 전혀 영향을 끼치지 않는다.

● 容量——콘크리트 鋪裝두께 설계에 관한 교통량推定の 다른 방법은 鋪裝容量에 근거를 두는 것이다. 설계목적으로서의 용량은 자동차의 기동에 있어서 불합리한 遲滯 또는 制限된 自由가 없이 보통의 도로와 交通量 條件下에서 所定の 한 지점을 통과 할수 있는 車輛의 時間當 車線當의 최대 臺數를 말한다. 보통의 조건은 다음을 포함한다. ① 交通量 構成 ② 車輛速度 ③ 日氣 ④ 路線設定 ⑤ 縱斷 ⑥ 車線數 및 幅 ⑦ 面積形態.

多車線 道路의 各가지 형태에 관한 설계 容量은 <表-9>에 요약되었다.

多車線道路의 두께 設計에 관하여는 양방향에 있어서 平均1日 交通量(ADT)을 <表-9>와 같이 時間當 通過車輛으로 바꾸는 것이 필요하다. 中斷없는 交通量 流通에 관하여는

$$ADT = \frac{100P}{100 + Tph(j^t - 1)}$$

$$\frac{5000N}{KD} \dots \dots \text{公式(1)인바 이때}$$

P = <表-9>의 時間當 및 車線 當通過 車輛數

N = 兩方向을 合한 車線數

Tph = 平均 1日 트럭 交通量(A DTT)이 약 0.6에서 0.8로 변하는 동안 최고 絶頂을 이루는 시간의 트럭 百分率이다.

ADTT의 2/3가 보통設計에 사용된다. j'는 一臺의 트럭이 차지하는 같은 크기의 면적에 통과하는 車輛臺數로서 가파른 地勢에서는 4이고 平地勢에서는 2이다. K = DHV = ADT의 百分率로서 設計時間 適用인데 郊의 直通 高速 道路에서는 15%이고 都市 直通 高速 道路에서는 약 12%이다. 그리고 D는 絶頂時間中 重量 交通方向에 있어서의 交通量 百分率로서 약 50%에서 75%로 변한다.

<公式 1>에 사용된 略字는 원래의 인용공식의 略字와는 좀 다르다. 記號 Tph와 대응하는 記號가 원인용정의 참고서적에서는 T이다. 여기서 이를 바꾼것은 다음 두 定義에서 보듯이 여기에 달리 사용하기 위하여 한 것이다.

T = 트럭인데 4個 以上の 타이 어와 모든 부속을 가진 單一體 臺數를 포함한다. 여기엔 panels와 pickups 또는 단지 4個의 타이아를 가진 다른 單一體의 臺數는 포함하지 않는다.

ADTT = 兩方向에 있어서의 平均 日日 트럭 交通量인데 ADT의 百分率 또는 실제값으로 표시된다.

2車線 도로에 있어 設計容量의 主因子는 透視距離가 1,500ft 이하이고 車線幅이 12ft 미만인 곳에서 의 전체 路 長에 대한 百分率이

〈表-9〉

多車線 道路의 設計容量

道路의 形式 (1)	通過 車輛의 12ft 車線當 時間當 設計容量 <sup>a</sup> (2)
① 30mph에서 35mph의 全速力 調節機構를 가진 都市 直通 高速道路	1,500
② 35mph에서 40mph의 全速力 調節 기구를 갖춘 郊外 都市 直通 高速道路	1,200
③ 全速力 혹은 部分 속력 調節 기구를 갖춘 地方 高速道路	1,000
④ 적당한 橫斷交通量 및 道路 邊의  방해를 받는 地方 幹線 道路	700—900
⑤ 고려할만큼의 횡단 교통량과 道路邊의  방해를 받는 地方 幹線 道路	500—700

a. 小型 트럭, 그리고 기타 타이어를 가진 상업용 차량을 포함하는데 交通 容量으로서의 通過車輛으로서의 機能을 갖는다.

〈表-10〉 2車線 道路의 지체없는 流通에 관한 設計容量<sup>a</sup>.

地 勢 (1)	路線 設定; 1,500ft 以下의 透 視距離와 計劃 길 이의 百分比 (2)	時間當 車輛當 2 方向에서의 設計容量 <sup>b</sup> (L=ft 단위의 車線幅, Tph=絶頂시간에서의 トラック百分比) <sup>c</sup>								
		L=12에 대한 Tph 값			L=11에 대한 Tph 값			L=10에 대한 Tph 값		
		0 (3)	10 (4)	20 (5)	0 (6)	10 (7)	20 (8)	0 (9)	10 (10)	20 (11)
平 地	0	900	780	690	770	670	600	690	600	530
	20	860	750	660	740	640	570	660	580	510
	40	800	700	620	690	600	530	620	540	480
가파른 곳	0	900	640	500	770	550	430	690	500	390
	40	800	570	450	690	490	380	620	440	340
	60	720	510	400	620	440	340	550	400	310
	80	620	440	350	530	380	300	480	340	270

a. 참조 3 88p. 表II-10에 의한 것임.

b. 표값은 횡정리가 制限되지 않은 곳에 응용하라. 횡정리가 6ft 이하의 곳에서는 참조 3 89p. 表II-11의 인자를 응용하라.

c. "트럭"에는 여하한 4-타이어 차량도 포함되지 않는다.

다. 12ft 미만인 車線幅은 토지 사용이 일차 기능인 輕量交通用 2車線 도로를 제외하고는 근래 사용하는 일이 드물다. 2車線 도로에 있어 유통에 지체 없는 시간당 車輛設計 容量(vph)이 〈表-10〉에 주어졌다.

特定設計에 있어 交通量計劃과 設計容量의 양자를 사용함은 매우 유익한 일이다. 이에 관해 다음 例題에서 설명한다. 現存하는 2車線 道路에 4,000 ADT가 통과하고 있고 계획된 ADT 10,800을 형성하는 20년 計劃因子는 2.7이다. 〈그림-

10〉이 보여주는 바와 같이 日當 약 4,000臺(vpd)인바 실제적으로는 2車線 지방도로의 設計容量보다 큰 값이다. 한편 10,800 ADT는 대부분의 4車線道路 設計容量 이하이다. 때문에 設計는 4車線 차도위에 10,800 ADT로 해야할 것이다.

● ADTT와 ADT—ADTT와 ADT 사이의 百分率 관계는 ①〈公式 1〉에 의한 ADT의 결정. ②〈表-10〉으로부터 2車線道路의 Vpd 容量 결정 ③ 포장의 設計 수명 기간의 예상되는 트럭수의 계산을 필요로 한다. 주된 各州間과 一次 계획의 설계에 관하여 州道路局의 計劃測量課는 특별한 荷重計 測量을 보통 시행한다. 이러한 測量으로부터의 자료는 ADTT와 ADT사이의 百分率 關係를 결정하는데 사용되어 질 것이다. 특별 조사가 이루어지지 않은 다른 계획에 관하여는 州道路局 計劃課에 의해서 시행된 年例 荷重計 測定으로부터 ADTT百分率 및 다른 기본 교통량 자료를 입수할 수 있을 것이다. 이러한 측정은 州道路制度에 있어 같은 지점에 대하여 매년 반복 측정된다. 荷重計 지점이라 불리는 이 지점들은 交通量構成, 車輛 무게, 輪荷重에 관하여 믿을 만한 정보를 주도록 신중하게 선택된다. 測定 결과는 W-1부터 W-8로 편찬된 일조의 表로 되었다. 이 表中の 일부로부터 얻은 자료는 다음과 같은 道路 等級에 따라 요약되었다. 各州사이 地方(I.R.) 다른 主要地方(other M.R.) 모든 主要地方(All M.R.) 各州 사이 都市(I.U.), 다른 都市(other U) 그리고 모든 都市(All U).

表 W-1은 州內 個個 荷重計 지점을 고려한 ADT와 車輛等級을 포함한다. 이 자료는 특별한 지점의 ADTT 百分比를 계산하는데 사용될 수가 있다. 예를 들면 韓州

에 관한 表W-1은 地方各州間의 제도에 대해 荷重計 지점에 관하여 다음과 같은 자료를 나타낸다.

모든 車輛-ADT 9,492  
 모든 차량 臺數와 그 組合 1,645  
 소형트럭 353  
 다른 4개 타이어 單一體 76

이 베이타에 대하여

$$T = 1,645 - (353 + 76) = 1,216$$

..... (2)

$$ADTT = \frac{1,216}{9,492} = 13\% \dots (3)$$

이 ADTT比는 교통량 성장 및 구성에 영향을 주는 因子가 荷重計 지점의 因子와 같은 지점의 계획 설계에 적절하게 될 것이다.

表W-2는 個個道路 等級에 관하여 荷重計 지점을 고려한 차량 형태의 百分比를 포함한다. 이것은 州內 도로 等級에 따른 ADT T百分比의 계산을 가능케 한다. 예를 들면 中西部 州에 있어서의 지방 各州間 지점에 관한 表W-2는 다음을 나타낸다. ① 모든 臺數와 組合=21.7% (panels와 pickups=3.83% 그리고 다른 4개 타이어 單一臺數=0.92%) ② 모든 通過車輛=78.30% 그리고 ③ 모든 車輛=100%에 대하여

$$ADTT = 21.70 - (3.83 + 0.92) = 17\% \dots (4)$$

이 ADTT 百分比는 교통량의 성장과 구성에 영향을 주는 因子들이 대략 平均이 되는 지방 各州間의 계획설계에 만족을 주게 될 것이다.

이 ADTT의 百分比에 관한 자료의 다른 근원은 BPR(16)에 의하여 이루어진 道路費 配當調査다. 이 조사에서 취한 <表-11>은 미합중국의 主道路 系統에 관한 4개 타이어 單一體臺數와 ADTT의 比를 나타낸다. 연방 補助 없는 系統에 관한 各州間의 系統으로부터 ADTT 百分比는 감소하고 도시도로

각가지 道路形式에 관한 4個-타이어 單一臺數와 트럭(ADTT)의 百分率

<表-11>

道路形式 (1)	地方 百分率로서의 값			都市 百分率로서의 값		
	2軸, 4타 이어 單一 臺數 (2)	ADTT (3)	合 計 (4)	2軸, 4타 이어 單一 臺數 (5)	ADTT (6)	合 計 (7)
各 州 間	7	14	21	7	8	15
第1次 其他 연방 보조	9	12	21	7	7	14
第2次 연방 보조	13	9	22	8	5	13
연방 보조 없는 곳	12	8	20	8	5	13

a. 참조16의 表N-A10에서 取한 것임.

의 ADTT 百分比가 지방도로의 약 40% 이하라는 사실은 주의를 기울여야 할 것이다. 도시 系統의 낮은 값은 소수의 트럭 보다는 통과 차량의 큰 체적에 대응함이 타당할 것이다. <表-11>에 있어서의 ADTT 百分比는 美國內 모든 地域에서 행하여지는 많은 計劃을 위해 사용할 수 있는 平均이다. 때문에 이 百分比는 단지 ADTT 百分比가 거의 平均인 지점의 설계에 應當될 수 있겠다.

設計 例一 四車線 地方 各州間 計劃 및 交通量

1. 平地, 郊外位置, 四車線
2. 設計수명 = 40年
3. 流通 ADT = 8500
4. 計劃 因子 = 2.2
5. ADTT = 13%

交通量 算定  
 設計 ADT = 8,500 × 2.2 = 18,700 ..... (5)  
 ADTT = 18,700 × 0.13

$$= 2,430 \dots (6)$$

$$\text{各 路線當 트럭수} = \frac{2,430}{2} = 1,215 \dots (7)$$

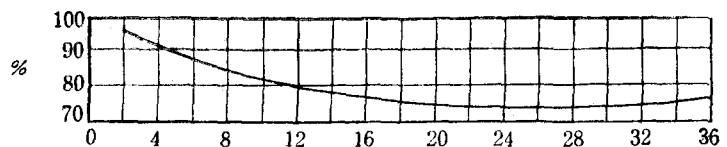
$$\text{各 路線當 Vph} = \frac{18,700}{2 \times 24} = 390 \dots (8)$$

390 Vph에 대하여 <그림-10>에서 右側 車線에 대해 92%를 나타내므로 40년 設計 수명이면

$$1,215 \times 0.92 \times 365 \times 40 = 16,320,000 \text{트럭수} \dots (9)$$

輪荷重-輪荷重 분포에 관한 자료로부터 계산된 16,320,000트럭수

에 관한 각가지 중량의 單輪 直列 輪의 수를 계산함이 필요하다. 특별 계획에 관한 특별 交通量 조사가 시행된 곳에서는 輪 및 분포에 관한 荷重計 자료가 또한 수집되어진다. 그런 자료가 유용하지 못한 곳에서는 表W-4의 荷重計 자료가 輪荷重을 계산하기 위하여 사용되어 지곤한다.



<그림-10> 4車線道路의 右側車線에 있어서의 트럭 (%)

〈表-12〉

中西部州에서의 모든 主要地方에 대한 輪荷重데이터(表W-4)

輪 荷 重 (lb)	單 體 트 럭					트랙터-반트레일러 단위				트럭-트레일러 단위			2트레일러 단위		1,000 台當*		
	1 톤 이하의 소트럭	기타 2軸 4타어	기타 2軸 6타어	3軸 또는 2이 상	單一體 트럭 예상 수	3軸	4軸	5軸 이상	트레 일러 대 예상 수	더 터 예상 수	4軸	5軸	모든 트 러 예상 수	5軸		6軸 이상	모든 2- 트 러 예상 수
(a) 單輪																	
이하-3,000	1,222	119	30	—	7,399	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	333.4
3,000-6,999	200	292	1,055	45	7,333	256	227	60	3,188	27	11	318	127	14	768	523.1	
7,000-7,999		2	145	30	805	148	243	85	2,843	6	7	97	32	6	211	178.3	
8,000-11,999		1	251	57	1,409	345	939	363	9,942	5	4	70	62	3	347	530.3	
12,000-15,999			132	13	651	174	288	54	3,111	2	6	54	25	8	188	180.4	
16,000-17,999			57	1	257	67	225	12	1,899	8	6	110	49	4	286	115.0	
18,000-19,000			12		53	22	141	7	1,078	8	3	92	31	—	163	62.5	
19,001-19,999			7		31	8	54	5	423				11	—	58	23.1	
20,000-21,999			3		14	5	80	9	598		2	12	9	1	54	30.6	
22,000-23,999			2		9	1	21		144				4		21	7.8	
24,000-25,999							1		6							0.3	
26,000-29,999							1		6							0.3	
30,000-34,999																	
單輪重量合計	1,422	414	1,694	146	—	1,026	2,220	595	—	56	39	—	350	36	—	—	
單輪計算合計	7,824	1,884	7,502	751	17,961	5,541	14,526	3,171	23,238	528	225	753	1,840	256	2,096	—	
(b) 直列輪																	
이하-6,000				—	—		1	—	7			—	—		—	0.3	
6,000-11,999				47	246		237	173	2,631		4	23		4	29	132.0	
12,000-17,999				23	120		189	209	2,541		3	17		—	—	120.7	
18,000-23,999				7	37		218	150	2,362		3	17		—	—	108.9	
24,000-29,999				36	188		270	214	3,103		1	6		2	14	149.2	
30,000-31,500				12	63		62	52	730		1	6		—	—	36.0	
31,501-31,999				2	11		11	11	141		—	—		1	7	7.2	
32,000-33,999				6	31		36	43	503		—	—		1	7	24.4	
34,000-35,999				6	31		26	35	838		1	6		1	7	19.5	
36,000-37,999				1	5		16	28	280							12.8	
38,000-39,999				3	16		12	27	247							11.9	
40,000-41,999							10	19	183							8.2	
42,000-43,999							14	11	160							7.2	
44,000-45,999							2	6	51							2.3	
46,000-49,999							5	5	64							2.9	
50,000-53,999							1		7							0.3	
直列輪重量合計				143	—		3,110	983	—		13	—		9	—	—	
直列輪計算合計				748	748		7,263	6,135	13,398		75	75		64	64	—	
車輪計算總計***	3,912	942	3,751	748	9,353	1,847	7,263	3,087	12,197	132	75	207	368	64	432	—	

\* 表W-4-(all MR) 各形式의 重量에 대한 載荷 또는 빈 트럭과 트럭의 組合에 대한 各가지 크기에 대한 輪荷重數와 1963. 7. 16부터 8. 8까지 (12) 荷重計 測定地點에 있어서 계산된 個個의 一般의 形式과 모든 形式에 관한 그와 같은 數의 荷重에 대한 예상수가 表 W-4에 실려있다.

\*\* 모든 單-臺數와 그 組合

\*\*\* 총 單一體와 組合體 車輛=22,189

表W-4는 단일체의 트럭과 트랙터-트레일러 조합 단위의 일반 형태에 관한(보통 2kip 증대) 각가지 重量의 單輪, 直列輪의 가능한 수를 제공한다. 요약란에서 1,000대의 차량당 각가지 증량에 대한 單輪 直列輪에 관한 수를 제시한다. 이 자료들은 필요한 輪 荷重 분포를 계산함으로써 편리한 형태에 있다. 中西部州의 모든 주된 지

방 荷重計 측정 지점에 관한 表W-4의 자료는 <表-12>에 요약된 형태로 표시되어 있다. 그 요약은 전년의 자료와 여기서 보인 설계방법에 요구되지 않은 어떤 난이거나 輪 荷重 자료는 제외하고 작성되었다(W-4 표와 참조될 만한 기타 荷重計表는 州道路局의 計劃 測量課로부터 입수할 수 있다). 그 난의 表題 「1,000臺當의 輪」은 <表

-13>의 난2에 다시 표시되었다. 設計수명에 있어서의 輪 荷重을 계산한 이 자료의 사용은 <表-13>의 난4의 값은 「두께 算定」란 下에 표시한 例題의 두께 계산에 필요한 것 中의 하나이다.

두께 算定에 使用되는 값

1. 路床  $k=100 \text{ #/in}^3$ .....假定
2. 4in 치리 안된 路盤.....假定
3. 合成  $k=130 \text{ #/in}^3$ .....表5
4. 荷重 安全 係數=1.2
5. 콘크리트  $M-R=650\text{psi}$ .....假定
6. 예상깊이=9.0inch.....假定

● 두께 算定——設計壽命중 예상되는 輪 荷重이 계산된 후의 두께는 <그림-11>에 再生된 형식을 完全하게 하기 위하여 요구하는 기능을 실행함으로써 결정된다. 이것은 순서와 다음 指示事項이라는 형식으로 주어진 아래 사항에 의해서 이루어진다.

① 欄1과 6의 자료는 <表-13>의 1과 4欄으로부터 취했다. 난1에서는 個個群에 관하여 最大輪 荷重을 사용하라.

② 欄3의 應力은 <그림-5>와 <그림-6>에서 취했다.

③ 欄4의 應力比는 應力을 콘크리트의  $M-R$ 로 나눔으로써 알게 된다.

④ 欄5의 허용反復數는 <表-7>부터 취한 것이다.

⑤ 欄7의 疲勞抵抗値比는 計劃反復數를 예상反復數로 나눔으로써 얻어진다.

● 두께 設計에 관한 示唆——마이너法則(Minor rule)의 엄격한 고집은(여기서는 疲勞에 한정하였음) 손피로를 100%에 限定시키는 바 그것은 콘크리트 疲勞強이 초과할 때에는 파괴되는 것처럼 보인다는 것을 단순히 뜻한다. 그러나 <그림-7>에서 보여 주는 바와같이 콘크리트는 피로에 소요되는 量을 결정함에 사용되는 28과 90

<表-13> 設計壽命을 통한 輪

輪 荷重 群 <sup>a</sup> (kips) (1)	차량 1,000대당 <sup>b</sup> 輪 (2)	트럭 1,000대당 <sup>c</sup> 輪 (3)	設計壽命에 있어 시의 輪 荷重 <sup>d</sup>
(a) 單 輪			
28-30	0.15	0.19	3,100
26-28	0.15	0.19	3,100
24-26	0.30	0.38	6,200
22-24	7.80	10.00	163,200
20-22	30.60	39.20	639,740
18-20	85.60	109.70	1,790,300
16-18	115.00	147.20	2,402,300
(b) 直列輪			
52-54	0.15	0.19	3,100
50-52	0.15	0.19	3,100
48-50	1.45	1.86	30,360
46-48	1.45	1.86	30,360
44-46	2.30	2.95	48,140
42-44	7.20	9.22	150,470
40-42	8.20	10.50	171,360
38-40	11.90	15.20	248,060
36-38	12.80	16.40	267,650
34-36	19.50	25.00	408,000
32-34	24.40	31.30	510,820
30-32	43.20	55.30	902,500
總 計	22,189 차량	17,335 트럭	16,320,000트럭

a. 中西部州에 대한 表W-4에서 취함. 表W-4群이 2psi를 초과하면 그 群은 2kips 보다 크지 않은 群에 比例한다.

b. 表W-4에서 取했음. "Vehicles"은 모든 單一體와 그 組合을 뜻한다.

c. 表W-4 合計트럭 수는 17,335臺임. 欄3의 다른 값은 트럭에 대한 "Vehicles"의 比로 증가된 欄2의 값이다. 例를 들면

$$0.19 = 0.15 \times \frac{22,189}{17,335}$$

d. 이 값은 欄3의 값에 設計壽命期間에 예상되는 全트럭臺數를 1,000單位로 곱하여 생긴 값. 例하면  $3,100 = 0.19 \times 16,320$  設計壽命의 트럭에 관한 計算課題를 보라.



**CALCULATION OF CONCRETE PAVEMENT THICKNESS**  
(Use with Case I Single & Tandem Axle Design Charts)

Project DESIGN ONE  
Type Rural Interstate-Rolling Terrain No. of Lanes 4  
Subgrade k 100 pci., Subbase 4-in. Granular Untreated  
Combined k 130 pci., Load Safety Factor 1.2 (L.S.F.)

PROCEDURE

1. Fill in Col. 1, 2 and 6, listing axle loads in decreasing order.
2. Assume 1st trial depth. Use 1/2-in. increments.
3. Analyze 1st trial depth by completing columns 3, 4, 5 and 7.
4. Analyze other trial depths, varying M.R., slab depth and subbase type. \*\*

1	2	3	4	5	6	7
Axle Loads kips	Axle Loads x/2 L. S.F. kips	Stress psi	Stress Ratios	Allowable Repetitions (Table 3) No.	Expected Repetitions No.	Fatigue Resistance Used *** percent

Trial depth 9.0 in. M.R.\* 650 psi k 130 pci

SINGLE AXLES

30	36.0	340	.52	300,000	3100	1
28	33.6	325	.50	Unlimited	3100	0
26	31.2		2.50	"	6200	0
24	28.8		"	"	163,200	0
22	26.4		"	"	639,740	0

TANDEM AXLES

54	64.8	382	.59	42,000	3100	7
52	62.4	368	.57	75,000	3100	4
50	60.0	358	.55	130,000	30,360	23
48	57.6	348	.54	180,000	30,360	17
46	55.2	333	.51	400,000	48,140	12
44	52.8	318	2.50	Unlimited	150,470	0
42	50.4		"	"	171,360	0
40	48.0		"	"	248,060	0

Total = 64

- \* M.R. Modulus of Rupture for 3rd pt. loading.
- \*\* Cement-treated subbases result in greatly increased combined k values.
- \*\*\* Total fatigue resistance used should not exceed about 125 percent.

<表-14> 地方各州間 4車線에 관한 比較 設計  
(ADT=18,700 ADTT=2,430 40년간트럭수=16,320,000)

設計 (1)	路床 k값 (LB/in <sup>3</sup> ) (2)	路盤의 形式 (3)	組合 k값 (LB/in <sup>3</sup> ) (4)	破壞係數 (LB/in <sup>2</sup> ) (5)	試算 (in) (6)	疲勞에 使用되는 比率 (7)
A	100	4인치 粒狀	130	650	9.0	64
B	100	4인치 粒狀	130	700	8.5	69
C	100	4인치 CTSB	300	650	8.0	15

日값이 넘어서도 強度의 증가는 계속하게 된다. 이 強度增加量을 구하는 단순한 방법은 許容疲勞消耗를 약 125%로 증가시키는 것이다. 100% 또는 120%의 어느 限界에 있어서는 設計問題에 관한 64%의 피로강은 전혀 안전하고 타당한 것이다. 9in은 너무 온당한가? 이것을 알아내기 위하여 8.5in에 關係 計算을 해보았다. 이 計算에서 全疲勞強이 314%로 증가한다면 8.5in로 만든다는 것이 너무 얇다는 것을 알게되었다. 피로 소비량에 있어서의 큰 증가는 콘크리트 포장에서의 荷重應力이 두께에 적응해서 반대로 변한다는 사실과 두께의 작은 변화가 疲勞強의 큰 변화를 가져온다는 사실을 기억함으로써 이해될 수 있다.

● 比較設計—<그림-11>에서 보여 주는 바 設計變化에 대한 單一組合에 관한 두께의 계산은 완전한 설계의 第1段階다. 가장 경제적으로 설계하기 위하여 계산은 다른 組合에 관하여도 이루어져야 할 것이다. 3組合에 관한 그러한 계산의 결과가 <表-14>에 주어져있다. 試算設計A는 앞에 보여주고 평가한 것이다.

試算設計B는 A와 같으나 콘크리트의 破壞係數가 700psi 증가했고 試算깊이는 8.5in로 축소되었다. 피로 소비량은 設計A와 비슷하였고 韌強度 500psi의 증가는 두께를 1/2인치 감소시켰다. 많은 骨材로 125% 이하의 피로 소비량을 유지하기 위해 필요한 증가강도는 40~50 Lb의 추가적인 시멘트만 가지고 성취될수있다. 이것이 진실인 구역은 費用이 감소

되고 또한 동일하게 重要한 것은 그 증가된 시멘트량이 耐久性を 好轉시킨다는 것이다. 콘크리트 포장비의 概算에 대한 상세한 방법이 많은 문헌에 나와 있다. 試算設計 C는 4인치의 시멘트로 처리된 路床을 가진 것인데 R값이 300#/in<sup>2</sup> 증가했으며 콘크리트強度는 650psi로 감소되고 두께는 8in로 축소되었다. 피로소모량의 15%만이 이 設計가 設計 A나 B보다 더 큰 荷重運搬容量을 가졌음을 보여 주었다. 보류된 피로 저항은 交通量 및 輪荷重을 概算하는데 있어서의 主欠點을 조정하는데 충분하였다. 7.5in로 더 감소시킨 계산은 피로 소요량이 120%임을 나타냈다. 이것은 7.5in가 개선된 교통량에 대해 충분할 것임을 지적하였는 바 실제에 사용되는 650 psi 이상의 파괴계수에 있어서의 작은 증가는 소 피로를 100% 미만으로 축소시키게 될것이기 때문일 것이다. 시멘트로 처리된 路盤은 또한 우수한 隄阻支持를 마련해 줄 것이다. 比較設計는 <表-14>에서 보여준 것과 같은데 設計時에 실제계획을 위해 이루어 졌다. 그러한 比較設計에 관한 費用調査는 本稿의 앞부분에서 설명한 바와 같이 가능한 最低經常費에 대한 기준을 분석함으로써 可能하게 될 것이다.

## 結 論

포장은 가능한 가장 낮은 經常費로서 충분히 交通量에 적응되도록 설계되어야 한다. 이를 위하여 知識은 實驗室試驗에서부터 實用化되고 調節交通量시험과 보통의 포장상태가 혼합交通量에 따라야 한다. 固定收縮과 固定反曲應力은 隄阻設計에 의하여 조절되고 그렇게 함으로써 두께 設計에 있어 이러한 應力들을 다시 고려함은 적절하지 않거나 필요하지 않음을 보여주었다.

公路局에 의하여 시행된 交通量 상태의 측정에서 보면 오늘날 넓은 幅의 포장車線에 있어서 거의 모든 교통량이 外側端이나 隅角部에서 멀리 떨어져 스투브의 內部에서 움직여가고 있다. 그결과 外側隅角部로부터 가로줄눈과 隄阻端으로 臨界應力이 바뀌어가고 있다.

포장설계에 관한 이론의 실제적 응용으로 만들어진 影響座標는 스투브의 여러 지점에 있어서의 應力の 크기와 중요성을 결정하는데 사용되어 진다. 가로端에서의 限界應力을 전개한 設計座標는 이미 제시한 바와같이 사용법은 설명하였다.

輪疲勞연구를 재검토할 때 應力比 0.5에서의 耐久限界 사용은 정당했음을 알았다. 그 재검토는 변

하는 輪應力에 관한 최근의 疲勞研究도 포함되었고 1933PCA疲勞曲線의 수정은 바람직한 것임을 알았다. 1933曲線과 현재의 PCA曲線 그리고 변하는 應力비에 대한 시험 결과를 대표하는 일정한 可能曲線 사이의 관계가 제시되었다. 현재의 疲勞曲線에 관한 應力比와 許容反復數를 나타낸 設計表가 제시되었다.

設計수명 동안의 豫想트럭交通量을 산출하는 방법이 주어졌다. 순서가 실제에 필요한 單輪 直列輪 荷重分布를 결정하기 위해 州道路局의 계획측량과에 의해 수집된 유용한 荷重計 자료가 또한 앞에서 주어졌다. 완전한 設計順序는 지체없는 교통량 유통을 전제 한 지방의 4차선 各州間 도로구획에 관하여 두께설계에 의하여 설명되었다.

그러나 설계자는 단독으로 두께 설계를 정지해서는 안된다. 진정한 工學이란 최저의 비용으로 최고로 봉사하는 그것을 찾기 위하여 여러개의 比較設計調査를 요구한다. 이를 위하여는 <表-14>에서 보여준 것과 같은 비교설계는 모든 실제설계문제에 관하여 계산되어야 한다. 費用算出者는 그때 어떤 계획에 관하여 어떤 설계가 가장 알맞는가를 결정하는데 도움을 요청하게 될 수 있을 것이다.

## 알림

弊協會는 콘크리트 道路鋪裝에 관한 다음과 같은 문헌을 최근에 입수했습니다.

- Ist European Symposium on Concrete Pavements
  - Vol. 1. Materials, Joint
  - Vol. 2. Maintenance and Resurfacing, Continuously Reinforced Pavements, Surface Finish
  - Vol. 3. Proceedings
- Ist European Symposium on Concrete Pavement, General Report
- Synoptic Table of European Concrete Road Standards and Practices