

콘크리트 鋪裝의 現代的 設計 (上)

—Transportation Engineering Journal 1968. 8 월호에서—

Phil Fordyce ①

W. A. Yrjanson ②

序 論

本質上 工學은 最低의 可用費用으로서 豫망되고 있는 效用 또는 用役을 용이하게 해결해 주고자하는 經濟學의 한 部門이다. 道路鋪裝은 最低의 可用費用으로서 규정된 設計壽命에 따라 豫想交通荷重을 적절히 견디어 낼수있도록 설계된다. 이를 위해서 設計人은 初期 施工費用과 維持費에 關係 항상 명확하게 검토하여야만한다. 양자 사이에 필요한 均衡을 위해 서는 다음과 같은 사항들이 완전한 設計에 포함되어야만 한다.

① 選擇된 粒度, Cross-hauling 및 다짐 조절에 의해 뒷받침되는 합리적인 형태의 路床에 대한 準備.

② 豫想交通量이 용기作用을 다분히 야기시킬 수 있는 지점에 대한 計劃上의 상대적인 薄板시멘트 非處理 路盤 및 시멘트處理 路盤에 의한 진흙 용기作用의 防止.

③ 收縮應力과 反曲應力을 조절할 수 있고 적절한 允差를 받쳐줄 수 있으며 침수에 의한 難點을 방지할 수 있는 允差의 設計.

④ 安全限度內에서 荷重에 의한

應力을 견디어 낼 수 있는 鋪裝두께의 設計.

이들 중요 요소의 마지막 것을 여기서 다루어 보겠다. 鋪裝두께에 關係 設計方法을 다루기에 앞서 다음 사항을 고려해 보는 것은 매우 유용한 일이 될 것이다. ① 콘크리트鋪裝 設計에 關係 知識의 出處 ② 固定收縮應力과 反曲應力 (「反曲」=warping 이란 용어는 土壤의 높은 體積變化 效果를 기술하는 데도 흔히 사용된다).

設計知識의 出處

① Westergaard, Pickett, Ray 및 그의 學者에 의한 이론적 研究.

② 美公路局의 아링톤試驗 및 美포트랜드 시멘트협회 (PCA) 實

驗實의 試驗과 같은 模型 및 實物 試驗.

③ Bates, Pittsburgh, California Maryland 및 AASHO의 道路試驗과 같이 交通量을 조절하여 이루어진 시험에 따른 경험적 鋪裝.

④ 平常적인 諸交通量에 따라 正常的으로 施工된 포장의 品質.

이러한 모든 出處가 유용하지만 특히 諸交通에 따라 正常的으로 施工된 포장의 品質로부터 얻는 지식은 올바르고 확실한 설계를 위한 요인이다. 설계의 理論 및 方法에 關係 중요한 기여를 한 Westergaard는 포장의 品質에 關係 理論 및 研究 結果를 검토하는 것이 매우 必要한 일이라고 인정하고 강조한 바있다.

콘크리트의 收縮 및 反曲에 기인한 應力

콘크리트鋪裝이 鋪設되고 굳어진후 그 상태와 설계에 影響을 미치는 첫번째 應力은 固定된 收縮에 기인하는 引張應力이다. 얼마 지난후 도로가 개통되었을 때 (施工上의 運用의이나 정상 개통이나를 막론하고)에는 固定된 反曲應力에 주의를 기울여야 한다. 收縮應力 및 反曲應力을 조절하는

데 사용되는 方法과 설계상의 鋪裝두께에 대한 그들의 關係는 日沒로 인한 作業中斷으로 생긴 允差를 제외한 어떤 종류의 允差도 없이 鋪設된 平面鋪裝의 상태를 고려함으로써 이해될 수 있다. 이러한 설계는 1925년 이전부터 널리 使用되어왔고 그이후에도 때때로 사용되고 있다.

註 ① Old Orchard Road, Skokie, Ill에 있는 포트랜드 시멘트協會 Service Section의 主任鋪裝 技士
註 ② 註 ①과 같음

콘크리트鋪裝을 鋪設하고 완공하는데 필요한 워커빌리티(workability)는 시멘트를 水和하는데 소요하는 물 보다 50% 내지 100%의 물을 더 혼합 사용하고 있다. 콘크리트의 凝結과정에서 剩餘水는 흘러나간다. 이러한 결과로 콘크리트는 塑性狀態에 있을 때 보다 최종적으로 굳은후에는 보다 적은 空間을 차지하는 경향이 있다. 콘크리트의 水和熱은 최종 應結이후에 잠시 凍結을 이루는 것이 보통이다. 이때부터 콘크리트의 온도는 下降하기 시작하는데 이것은 水和活動의 감소와 포장수명의 첫날 밤에 溫度가 낮아지는 두가지 요인에 기인하는 것이다. 포장이 낮은 온도에 對應하여 收縮을 하게될 때 스투브와 路床(또는 路盤)을 築造한 경우에는 路盤) 사이에 마찰이 생겨 그 과정에서 포장이 고정된다. 이 固定은 <그림-1>에서 보여주는 바와 같이 가로방향 均열을 가져온다. 이 均열간격은 50ft로부터 150ft 또는 그 이상으로 변하게 된다. (마찰까지의 변화가 줄눈이 있는 포장중 가로줄눈 아래에서 초기에 成形된 均열간격에서 일어난다).

만일 鋪裝이 완전히 固定된다면

收縮應力은 콘크리트의 溫度變化·彈性係數·熱膨脹係數의 函數가 될 수 있다. 그러나 스투브 끝부분은 고정되지 않거나 불완전하게 고정된다는 사실은 이미 알려져 있으며 긴 스투브의 끝으로부터 100ft 내지 300ft 안에서 고정된다는 것도 알려진 것이다. 또한 긴 스투브의 안쪽에서도 완전히 고정되는지의 如否는 의심스러운 바가 있다. 전혀 安定된 路床까지도 溫度·含水比·材齡 및 기타 路床의 屬性變化에 기인해서 미미하지만 여러가지 垂直變位運動이 계속되고 있다. 鋪裝이 이러한 路床垂直變位運動을 조절한다며는 스투브와 스투브의 支盤사이의 內面摩擦 程度는 계속 변화할 것이며 스투브의 고정도 필연적으로 변화할 것이다. 이것은 마치 위에서 인용한 均열간격 변화와 같이 이러한 변화가 중요한 효과를 갖는 것과 같다. 이것은 路床마찰변화에 따른 引張應力의 계산에 따라 보여지게 된다. 이러한 應力은 다음식으로 표시된다.

$$Sf = WLF/2a$$

Sf = 路床마찰에 의한 引張應力 (lb/in²)

L = 스투브 길이 (ft)

W = 스투브重量 (Lb/ft²)

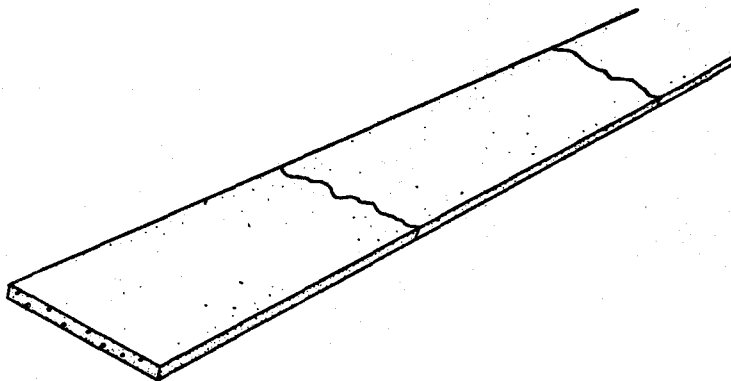
F = 路床摩擦係數

a = 12인치 幅의 스투브橫斷面積 (in²)

2개의 出處에서 나온 路床마찰 계수에 관한 발표 자료는 전형적인 자동차의 조건을 위해 기대할 수 있는 1.0으로부터 0.5까지의 數値를 보이고 있다. 콘크리트重量 144 lb/ft³, 스투브 길이 9 in 스투브 길이 25 ft, 50 ft, 100 ft, 150 ft의 係數영역에서 引張應力을 계산해 보면 <表-1>과 같다. 이 計算値는 路床마찰변화가 고정된 收縮에 기인해 일어나는 引張應力의 광범위한 변화 및 초기 均열간격에서 일어나는 필연적인 變化를 야기시키는 것임을 보여준다.

이 계산치는 또한 路床마찰에 기인해 일어나는 引張應力이 매우 낮음을 보여준다. 그러므로 이러한 應力에 기인하는 均열은 포장 초기 사용시에 일어나는 것처럼 보인다. <表-2>는 鋪裝材齡 18시간 내지 28일 사이에 일어나는 引張破粹強度를 표시한다. <表-1>에서 보여준 應力과 <表-2>에 나타난 引張強度를 비교해 보면 固定收縮과 路床摩擦에 기인하는 치명적인 모든 均열은 포장을 사용한후 최소 24시간 동안에 발생하고 있음을 보여준다. 화씨 70°와 100° 및 그 이상에 있어서의 引張強度의 차이는 초기에 포장을 사용하는 사이에 발생하는 硬化溫度가 固定收縮에 기인하는 均열간격의 변화에 오직 영향을 끼치고 있음을 보여준다.

만일 固定收縮應力이 오직 콘크리트포장의 均열에 원인이 있다면 <그림-1>에서 보여주는 바와 같은 불규칙 均열을 조절하기 위해서는 낮은 비용으로 가로 收縮 줄눈을 설치함으로써 달성될 수 있다. 이와 같은 조절이 가해집으



<그림-1> 줄눈없는 鋪裝에 있어서의 收縮均열

〈表-1〉 줄은 없는 6인치 鋪裝의 引張應力

路床하중係數 (1)	引張應力 (lb/in ²)			
	25 ft 스투브 (2)	50 ft 스투브 (3)	100 ft 스투브 (4)	150 ft 스투브 (5)
1.0	13	25	50	75
1.5	19	38	75	113
2.0	25	50	100	150
2.5	32	63	125	188

〈表-2〉 初期材齡에서의 콘크리트 引張強度

材齡 (1)	引張破砕強度 (lb/in ²)	
	70°F (2)	100°F (3)
18시간	40	170
24 "	75	195
48 "	150	255
3일	205	275
7 "	260	305
28 "	325	325

로써 포장두께 설계시 固定收縮에 대한 配慮를 다시 취하는 것이 필요 없거나 적절하지 않게 된다.

콘크리트 鋪裝이 굳어진후 표면의 上部와 下部 사이의 溫度 및 含水度는 固定反曲에 기인하는 應力을 誘發한다. 表面의 下部 및 이에 가차울수록 含水度와 溫度의 1일중의 변화가 적다. 그러나 表面의 上部 및 이에 가차울수록 1일중의 심한 변화가 일어나고있다. 낮에는 上部表面이 下部보다 자주 더 뜨거워 진다. 그때 上部는 表面이 팽창되고 反曲되어 스투브의 끝은 아래로 향한다. 스투브의 低部는 引張되고 표면은 收縮되는 되서 기인하는 反曲현상은 路床 및 스투브의 中량에 의해서 고정된다. 야간에는 上層表面이 下部보다 차게되는 때가 많다. 이때 上部는 收縮되고 反曲을 일으켜 스투브 끝은 위로 향한다. 應力은 반대로 되어 鋪裝 表面은 引張이고 下部는 壓縮이다.

上·下 스투브表面사이에서 포함

된 含水의 差異는 같은 현상을 일으키게 하나 應力처럼 심하지는 않고 포함된 含水의 감소가 收縮을 유발하고 증가가 膨脹을 일으킨다. 固定反曲을 평가할때 이것은 매우 복잡한데 때로 溫度와 含水度의 差異는 반대 효과를 가져오기 때문이다. 스투브의 上部가 下部보다 뜨거울 때 上部는 팽창을 일으키고 스투브 하부가 상부보다 含水度가 큰것이 보통이므로 스투브 하부도 팽창을 일으키게 된다. 이렇게 되어 固定反曲應力의 크기는 溫度차이만에 의한 應力보다 작게 된다.

이와 같은 反對要因과 기타의 반대요인 때문에 오직 溫度差만을 고려한 公式으로부터 계산해낸 反曲應力은 測定値와 鋪裝品質에 비교해 볼 때 너무 높은 것이다. BPR 研究計劃을 통하여 측정된 反曲應力은 溫度를 기초로 계산해낸 數値의 오직 절반에 지나지 않는다. 自由端의 載荷를 위해 이러한 근거에서 뽑아낸 수치는 〈表-3〉

〈表-3〉 8 in 15 ft 스투브에

관한 反曲應力

粗骨 材 (1)	端部載荷 (lb/in ²)	
	測定値 (2)	計算値 (3)
자갈	120	230
雜石	115	250

과 같다.

오직 溫度의 변화 정도만을 고려한 公式에 근거한 다른 계산은 9 in 포장으로서 스투브의 길이가 20 ft 혹은 그 이상일 경우에 350 psi 내지 370 psi의 應力을 보여주고 있다. 만약 反曲應力의 數値가 이렇게 높다면 鋪裝使用 初夜에 있어서의 가로방향균열이 15 ft 내지 20 ft 또는 그 이하의 간격이 되어야 할 것이다. 이러한 사실은 材齡初期에 引張強度를 연구함으로써 명백해진다. 8시간, 16시간, 24시간에 3×3×15 in 보위의 3分點에 대한 數値는 〈表-4〉와 같다. 28日 強度는 콘크리트의 含有量을 나타내기 위해 첨가었다.

鋪設後 鋪裝材齡 14시간 내지 18시간이 포장수명의 初夜에 낮은 온도에서 기인하는 높은 反曲應力 전개의 위험한 기간이 될것이다. 16시간에 나타난 가장 높은 強度는 274 psi로서 9 in 스투브에서 인 용한 350~370 psi의 反曲應力 보다 75 psi 이상이 낮다. 더욱 16시간 強度하나만을 제외한 나머지 부분은 8 in, 15 ft 스투브에 관해 〈표-3〉에서 보여준 BPR 計算値보다 모두 낮다.

〈表-4〉의 強度資料에도 불구하고 줄은 없는 포장의 가로방향균열은 鋪裝壽命 24시간뒤에 50 ft 내지 150 ft 떨어져 있다. 밀접한 간격의 가로균열 또는 +字形의 斜方向균열은 때때로 더운 여름날의 높은 콘크리트溫度에 의해

〈表-4〉 初期材齡에 콘크리트 휨強度

材 齡	養生條件			
	麻袋 및 물 ^a		被 膜 ^b	
	75°F (2)	100°F	75°F	100°F
8시간	16	20	29	95
16 "	127	177	170	274
24 "	250	294	309	399
28日	757	581	568	551

a: 처음 8시간 室溫에서 젖은 麻袋

b: 100 yd²/gal 의 비로 撒布하고 상대 濕度 50%에서 양생한보

깨끗한 被膜養生 또는 부적당한 養生이 결과된 곳에서 일어나곤한다. 이러한 조건때문에 한 간격의 反曲균열은 보통 10시전의 이른 아침시간에 콘크리트를 鋪設함으로써 制限할 수 있다. 20 ft 내지 24 ft 幅으로 鋪設된 포장에 있어서도 세로균열은 생기지 않는다. 때문에 인용된 強度資料는 〈表-3〉의 BPR 測定値와 같이 낮은 反曲應力임을 신빙성있게 제시한다.

鋪裝狀態의 관측은 反曲應力이 溫度公式에 의하여 계산된값 이하임을 지적해 준다. 15 ft 내지 20 ft 줄눈간격을 가진 平面鋪裝에 있어서의 均열이 포장도로가 개통된후 數週 내지 數個月동안에는 모든 均 열면에서 결코 생기지 않는다. 均열을 방지키 위해 均 열이 상당히 떨어져 있거나 均 열간격 40 ft, 50 ft, 60 ft, 100 ft 사이에 分布鐵筋을 사용한 포장에 있어서는 포장도로가 개통된후 數個月 내지 數年이 경과해도 均 열의 가로균열이 생기지 않게된다. (分布鐵筋을 썼거나 또는 50 ft 내지 100 ft 정도의 均 열 均 열간격을 가진 鋪裝을 실시한 지역에서는 이 포장도로가 개통된후 20년후에도 均 열에 필만한 가로균열이 생기지 않는다. 많은 이런 관찰은 重量載荷 트럭의 큰 體積을 통과시킨후에 이루어지는 것이기 때

문에 固定反曲應力이 매우 낮은 것이라는 사실을 추리케 해준다. 이런 類의 포장에서 일어나는 우발적인 均열을 路床支持物의 豫想外의 變化에 기인하며 긴 均열틈 사이로 갈라진다). 均열이 생겼을 때라도 간격은 15 ft 내지 20 ft 이다. 그것은 固定反曲 및 荷重應力의 효과가 組合된 것이며 그리고 그것은 固定反曲에 기인하는 應力을 완화해준다.

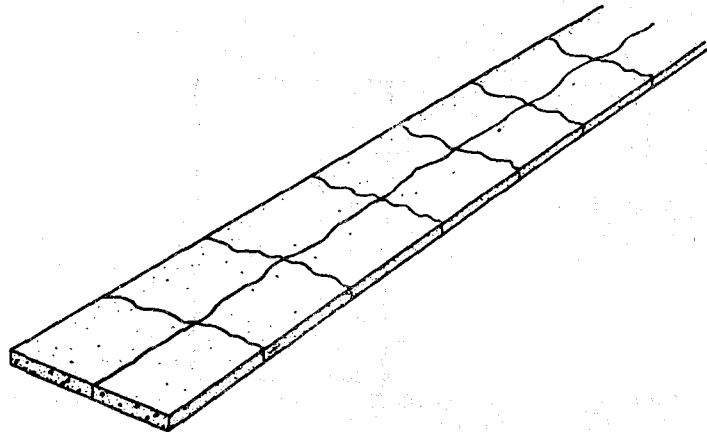
적절하게 養生된 콘크리트 포장에 있어서는 反曲應力만으로서 均열이 생기지 않는다는 증거가 AASHO 道路試驗에서 나타났다. 자동차 道路被腹에 차이가 있는 3, 4, 5, 6被腹區間에서는 망사를 사용하고 40 ft 均 열을 가진 시험

부분의 55%에서 가로균열이 나타났는데 이것은 反曲이 아래로 치질수 있기에 적절한 조건을 가지고 있던 1959年 가을의 짧은 기간에 생긴것이다.

그러나 均열이 생겼을 때도 최소 12개월간의 시험운행중에 시험區間에서 250,000 내지 300,000대의 차량반복이 있었다. 이와 대조하여 차량운행을 하지않았던 1被腹區間中 40 ft의 均 열을 가진 어떤 부분에서는 均열이 생기지 않았다.

固定反曲이 매우 복잡하고 反復荷重이 매우 복잡적이기 때문에 확고한 설계를 위하여 신뢰할만한 유일한 기초는 均 열없는 鋪裝의 품질에 있다. 이 품질은 荷重과 결합되어 활동하는 固定反曲이 〈그림-1〉에서 보여준 초기 收縮 均열과 一車線 以上을 가진 포장의 中心線 가까이에서 생긴 세로균열 사이에 추가적인 가로 均열을 일으키는 원인이 될것이라는 사실을 보여주고 있다. 결과적인 均열의 類型을 〈그림-2〉에서 볼 수 있다.

設計目的은 가장 낮은 可能經費로서 이 均열을 방지하려는데 있다. 均 열 없는 포장을 鋪設해서는 안되며 〈그림-2〉에서 보여주는



〈그림-2〉 固定反曲과 荷重에 대응하는 均 열없는 鋪裝의 부가적

바와 같은 균열을 허용해야만 하는가? 이것은 명백히 初期施工費用을 낮게 할 것이다. 그러나 보잘것없는 効用성과 높은 維持費는 높은 年次投入費用을 유도하기 때문에 설계의 목적은 이루어 질 수 없게 될 것이다.

年次投入費用을 낮게 하기 위하여 初期收縮에 기인한 균열 및 反曲과 荷重의 複合運動에 의한 균열은 줄는 設計方法에 의하여 調節될 수가 있다. 균열조절의 가장 경제적인 방법은 균열이 생긴다면 줄는 밑에나 생기도록 할만한 줄는 간격을 가진 平面 스투브의 설계다. 代替된 設計는 가로 줄는 간격을 보다 멀리 띠어 놓고나 중간균열을 방지하기 위하여 줄는 사이에 分布鐵筋을 사용하는 것이다. 어떤 설계이거나 連續性을 유지하기 위해서는 줄는과 균열을 충분히 밀받침해 주어야하며 이렇게 함으로써 走行성과 實用性을 견지하게 해야만 한다.

두께設計를 위한 荷重應力;

車線幅은 交通量에 의해 생기는 應力の 型式과 크기에 영향을 받는다. 1920년 경의 鋪裝車線은 보통 9ft 폭이었고 트럭들은 外側鋪裝端을 따라 운행되었다. 限界應力이 트 포장은 三角形 모양의 캔티레버 보(Cantiliver beam)와 비교

줄는設計에 대한 세부적 절차는 다른곳에서 다루겠다. 줄는設計에 의하여 收縮과 反曲應力을 조절함에 있어서 포장두께의 設計에 이들 應力을 再次 감안한다는 것은 필요하지도 않으며 적당하지도 않다는 것을 유의해야 할것이 중요하다. 平面設計나 分布鐵筋設計에 있어서도 진실로 이러한 조치를 취할 것을 고려한다함은 앞의 사실이나 동등하게 중요한 일이다. 더우기 認識해야할 중요한 점은 分布鐵筋을 가진 鐵筋콘크리트의 사용이 두께의 減少를 허용하지 않는다는 사실이다. 이러한 사실은 正常的인 도로사용에 의해 供與된 鋪裝品質에 의해 나타나고 조절된 車輛시험운행 결과에 의해서도 나타난다. 이러한 사실은 같은 두께의 鐵筋콘크리트 設計보다 平面스래브 설계에 있어서의 品質이 보다 우수했음을 보여주는 AASHO의 道路試驗을 기억해내게 하는 것이다.

力은 트럭바퀴가 <그림-3>에서 보여주는 바와 같이 가로줄는에 의해서 형성되는 偶角部와 外側鋪裝端을 통과할때 일어 났다.

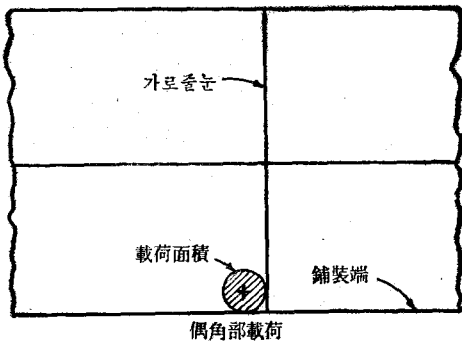
이 偶角部載荷에 對應하여 콘크리트 할 수 있는데 最大應力은 偶角의 二等分線에 따라 포장의 상부

에서 일어난다. 이 應力에 관한 수정된 캔티레버公式는 1920년 초기에 처음으로 발표되었다. 이 公式는 「Bates 試驗道路」의 9ft 車線에 대하여 變形測定과 品質資料에 잘 부합되는 數值를 제시하였고 콘크리트포장두께 설계에 工業力學을 처음 사용한 것중의 하나로 반영되었다.

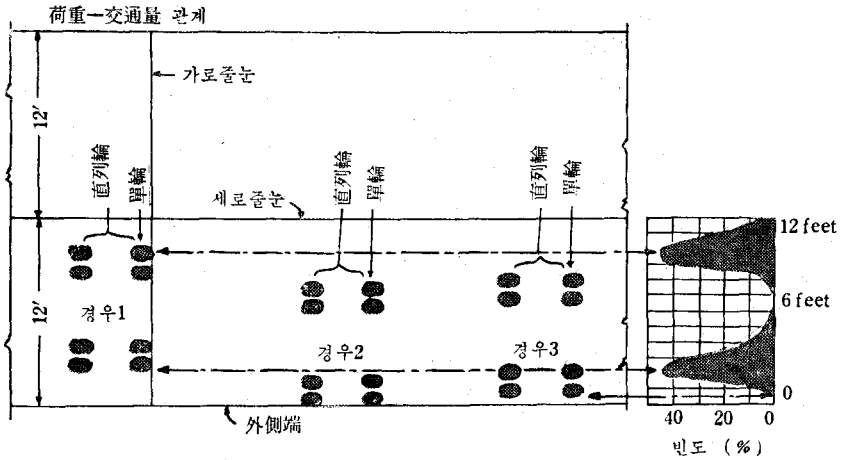
1920년 중반에와서 웨스트가드는 단순화된 偶角公式(Corner formula)으로 콘크리트 스투브의 內部, 端部 그리고 偶角部에 가해지는 荷重에 의한 처짐과 應力에 관한 그의 이론적 실험을 공표하였다. 웨스터가드의 偶角公式 그리고 다른 사람 즉 브래드버리(Bradbury), 켈리(Kelly), 스펡그릴(Spangler) 그리고 피켈(Pickett)은 콘크리트 스투브 두께 설계에 工業力學을 응용하도록 확대시켰다. 이러한 偶角公式들은 수년간 만족할만한 결과로 사용되어 왔지만 車線幅이 9ft에서 12ft로 增大하자 交通量은 外側 偶角部나 端部에서 內側으로 이동하였고 그 결과 限界應力이 생기는 위치도 外側偶角部로부터 가로줄는의 端部로 변하게 되었다.

<그림-4>는 12ft 車線과 3가지 가능한 設計荷重位置(경우 I, II, III)로 이루어진 포장을 가로 지르는 정상적 차량분포를 보여준다. 경우 I은 가로줄는端에 單輪, 直列輪 荷重을 보여주는데 最大應力은 스투브의 밑면에서 생기고 줄는端에 平行한다. 輪荷重은 <그림-4> 右側의 交通量頻度 分布圖가 보여주는 바와 같이 가장 큰 荷重의 反復點 위에 위치하게 된다. 分布도에 관한 交通量 자료는 다른 기회에 설명하겠다.

경우 II는 外側鋪裝端의 單輪, 直列輪에 관한 것이다. 輪軸은 鋪裝端에 직각이다. 경우 II에 있어



<그림-3> 外側偶角部荷重位置



〈그림-4〉 荷重位置와 交通量分布

最大 휨應力은 스테브의 밑면에서 생기고 外端에 평행한다. 이러한 應力들은 특히 單輪荷重에 있어 경우 I의 位置 보다 다소간 높다. 그러나 〈그림-4〉의 交通量頻度圖에 의해서 나타난바와 같이 경우 II와 같은 위치의 荷重載荷는 매우 드문일이다.

경우 III은 荷重이 外側鋪裝端으로부터 6 in 안으로 위치하고 있는 것을 제외하고는 경우 II와 같다. 경우III의 位置에 있을대 端應力은 경우 I나 혹은 경우 II중 어느것보다도 아주적다.

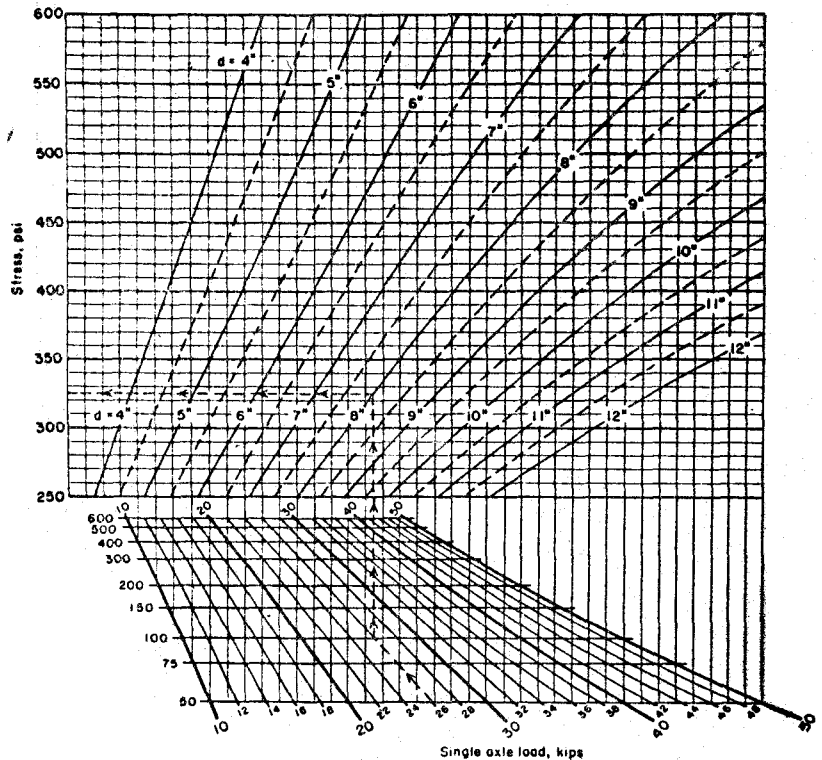
경우 I, II, III의 荷重位置와 같은 單輪, 直列輪應力은 지·피켈(G. Pickett)과 지·케이·레이(G. K. Ray)에 의해서 전개된 影響座標의 方法에 의해서 결정되었다. 이러한 좌표는 웨스더가드에 의하여 전개된 이론적 方程式에 근거를 둔것이고 스테브위 여러 위치의 荷重에 대한 스테브端과 내부에 있어서의 휨모멘트와 應力들을 결정하기 위한 웨스더가드의 實驗을 채택함으로써 실용화되었다. 이것은 특별히 경우 III에 관해 중요

한 것으로 휨응력은 荷重이 내부로 향하게 되어있으나 端部 가까이에 載荷됨을 요구한다.

緣端에서의 모멘트應力에 관한 影響座標 6은 경우 I, II, III을 위한 應력을 계산하기 위해 사용되었다. 〈그림-4〉에 나타난 이리

한 應력과 차량분포 사이의 상호 관계는 AASHO의 49次年例會義에서 발표되었다. 결론은 아래와 같다.

① 피켈-레이의 影響座標는 현 대포장에 있어 應력을 결정하고 應력의 과정에 대하여 신뢰할만한



〈그림-5〉 경우 I에 대한 單輪荷重에 관한 設計座標

多方面의 방법을 제공한다.

② 경우 I 은 單輪차량의 99.8%, 直列輪차량의 99.9%에 대한 最大應力이 된다.

③ 경우 I 보다 16% 더 큰 平均應力은 單輪차량의 0.2%에 해당한다.

④ 경우 I 보다 2% 더 큰 平均應力은 直列輪차량의 0.1%에 해당한다.

경우 I 에 보여준 것보다 더 큰 應力에 대한 交通량의 分數比率을 허용하기 위하여 모든 輪荷重은 한 點에서 줄눈과 만난다고 가정된다. <그림-4>가 한 點에서 줄눈과 만나는 輪荷重의 단지 45%만을 보여준다는 사실에 유의해야 할 것이다.

影響座標의 計算值들은 單輪, 直列輪에 대한 경우 I 의 二階設計座標를 만들기 위해 그 당시에 사

용되었다. 이 設計座標는 또한 AASHO 設計委員會에 제출되었고 이곳에서 다시 정리되었다. <그림-5>는 10 kips 내지 50 kips 單輪荷重에 관한 것이고 <그림-6>은 20~100 kips의 直列輪荷重에 관한 것이다. 두 座標에서 k 값은

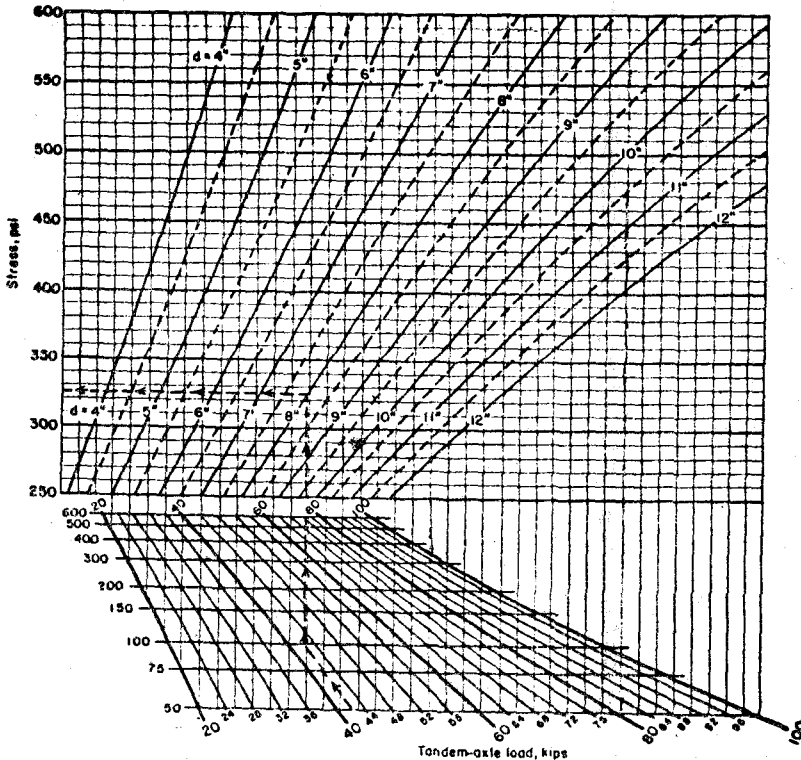
콘크리트의 特性

콘크리트 포장에 있어서의 限界荷重 應力은 휨성이기 때문에 콘크리트의 휨強度는 二階設計에 사용된다. 휨強度는 보통 6×6×30 in 보에 의한 破壞係數試驗으로 결정된다. 破壞係數는 캔티레버 보의 中間點載荷 또는 3分點載荷에 의하여 구하여 진다. 이 시험방법의 주요 차이는 3分點 시험이 시험보의 中間 3分の 1의 가능한 最少強度를 나타내주는 반면 다른 그 방법은 단지 1點의

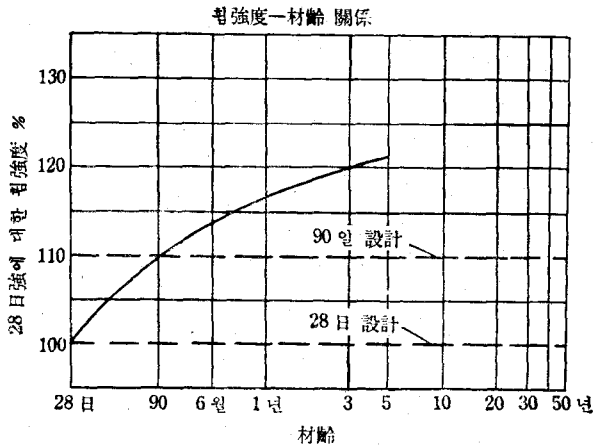
50 LB/in³ 내지 600 lb/in³, 應力은 250 psi~600 psi 그리고 두개의 범위는 4 in~12 in 였다. 이 座標의 使用法은 ……표와 화살표로 표시 하였고 더우기 다음의 <그림-11>에서 제시한 標本문제에 의하여 설명되고 있다.

強度만을 나타낸다. 이러한 이유로 3分點法이 二階設計에 사용된다. 캔티레버 및 中央點試驗 또는 壓縮強度 試驗은 만일 3中央點法試驗 결과의 관계가 공사시작전에 결정되었다면 工事調節을 위하여 사용될 수 있을 것이다. 特定計劃을 위한 콘크리트의 혼합은 가능한 낮은 비용으로 충분한 耐久性和 휨強度의 양면을 만족시키도록 설계되어야 한다.

破壞試驗係數는 통상 7일, 14일, 28일과 90일에 구한다. 7일과 14일의 試驗結果는 작업조절에 관한 明細要求와 鋪裝道路가 개통될 시기의 결정과 비교된다. 28일과 90일의 試驗 데이터는 二階設計에 사용된다. 28일 強度 및 90일 強度의 사용은 鋪裝이 개통된 후 壽命의 처음 28일과 90일 사이에 應力反復이 거의 없다는 이유와 또한 콘크리트는 <그림-7>에서 보여주는 바와 같이 90일 이후에도 계속 強度가 증가한다는 이유로서 정상화될 수 있다. 그림에서 材齡에 따른 強度의 增加는 연속 曲線(solid curve)인바 이것은 몇개의 계속된 實驗室試驗에서 구한 破壞值의 平均係數로 나타낸 값이며 또한 使用에 供與된 포장에서 취한 콘크리트보 및 斷面에 관한 野外養生시험을 표시하는 것이다. 強度의 獲定과 設計上



<그림-6> 경우 I 에 대한 直列輪荷重에 관한 設計座標



〈그림-7〉 韌強度, 材齡 그리고 設計關係

의 假定 사이에 있는 관계는 「90日設計」와 「28日設計」로 分類된 水平인데 示線으로 표시된다. 과거에 28일 破壞係數는 街路와 公路의 二階設計에 사용되어왔다. 그러나 〈그림-7〉의 材齡-強度 關係는 이 사실이 지나치게 보수

적임을 나타낸다. 그러므로 60일 值의 사용은 鋪裝道路가 개통되기 전에 施工裝備에 의하여 주어지는 사용전의 鋪裝破損의 방지에 충분한 고려가 강구된다면 道路의 街路의 二階設計를 위해 정당화될 수 있을 것이다.

路床 支持

路床에 의한 콘크리트 포장의 支持와 路盤이 설치된 곳에서의 路盤에 의한 支持는 포장두께 설계의 주된 요소중의 하나이다. 路床 및 路盤의 지지는 웨스터가드의 路床反力の 係數에 의하여 계산된다. 이 係數는 k值라 불리워 지는데 載荷面積(통상 30in 直徑의 板)에 psi(lb/in²) 단위의 荷重이 작용하는 것과 동일한 값이며 그러한 荷重에 대해 inch 단위의 힘량에 의해 나누어진 값이고 파

운드(pound lb) 단위의 全重量을 立方 inch로 표시된 全容積으로 나눈값이다. 이 k值는 lb/in²/in 혹은 lb/in³로 표시된다.

k값의 現場測定을 위한 적절한 조치는 陸軍技術敎範인 TM 5-824-3과 陸軍工兵團교범 110-45-303에 나타나 있다. 이 조치는 시험현장에서 채취한 試料에 대해 10psi 壓密試驗을 행한 1點 위에 기초를 둔 野外測定의 補正을 포함한다. 1個의 試料는 現場

〈表-5〉 k值의 非處理 路盤에 대한 效果

路床의 k 值 lb/in ³ (1)	路盤의 k 값 lb/in ³			
	4-in (2)	6-in (3)	9-in (4)	12-in (5)
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

含水比로 시험되었고 다른 試料는 飽和含水比로 시험되었다. 진전된 飽和의 정도는 포장도로가 개통된 후 正常的 現場含水 조건에 영향을 미칠 것이나 春季 解氷期間의 含水比 보다는 적게 영향을 미칠 것이다. 壓密試驗은 塑性의 흙으로서 ASTM T-99에 표시된 最適含水比(Optimum Moisture Content) 보다 낮은 含水比에서 다져진 곳에 적절할 것이고 또는 路床土가 다른곳에 적당하다. 그러나 塑性의 흙이 T-99最適含水比 이상의 含水比로서 다져진 곳에서는 안정된 含水比를 유지하고 壓密補正試驗은 필요치 않다. 이 補正은 路床이 壓密試驗에 의해 보여준 含水比에 도달하지 않을 것이라는 사실이 알려진 곳에서는 생략되거나 完化될 수 있을 것이다.

〈그림-5와 6〉의 設計座標에 관한 연구는 스프레드두께가 k值의 작은 변화에 민감하지 않다는 사실을 보여준 것이다. 때문에 목표는 k值의 絕對值를 구하는 것이 아니고 범위를 정하는 것이다. 정확한 k值가 요구되지 않기 때문에 〈그림-8〉에서 보여준 관계는 콘크리트 두께 設計에 간혹 이용될 뿐이다.

AASHO 道路試驗은 解氷期를 통하여 路床支持가 크게 감소된 짧은 기간에 콘크리트 포장의 소요두께에 약간 영향을 미치지거나 전혀 영향을 미치지 않는다는 사

〈表-6〉 시멘트 처리된 路盤의 設計 k 值

(路床 k-近似值 100 lb/in ³)	
두께 in (1)	k 值 lb/in ³ (2)
4	300
5	450
6	550
7	600

설을 보여주고 있다. 이것은 콘크리트 설계가 疲勞를 적절히 허용하도록 시행된다는 이유와 春季初期 짧은 期間의 k 값은 路床이 얼어있고 k 값이 설계에 가정했던 값보다 크게되는 기간에 의해서 상쇄된다는 이유때문에 진실이라 볼 수 있는 것이다. k 값의 季節的 변화에 소요된 저루한 방법을 피하기 위하여 常溫에서의 k 값은

설계시 타당한 平均값을 사용한 다.

k 값의 증가 목적만으로 路盤을 設計한다는 것은 일반적으로 經濟的이 아니다. 그러나 다른 목적에 따라 路盤이 필요한 지점에서는 두께 설계에 있어 路盤을 築造하는 경우 k 값이 증가하게 될 것이다. 만약 路盤이 非處理된 粒狀의 재료라면 k 값 증가의 근사치는 <表

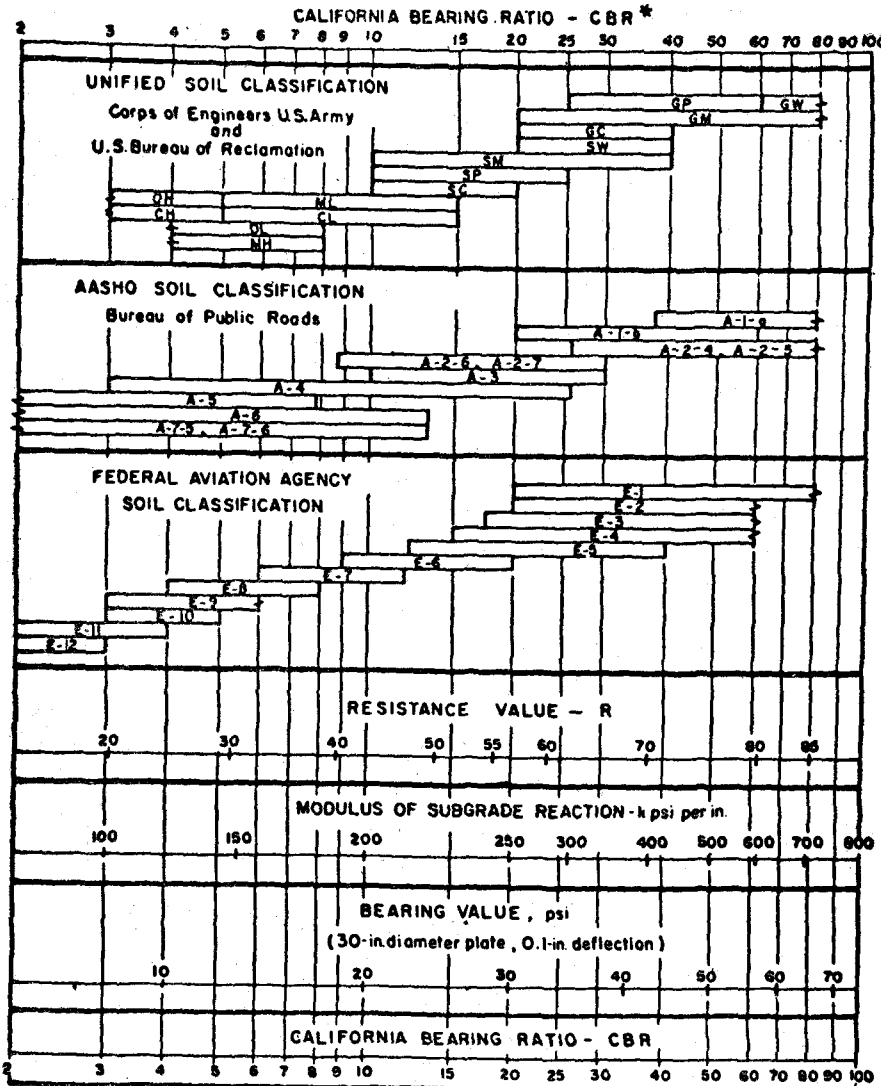
-5>로부터 취하면 될 것이다.

<表-5>의 값은 2層式 버미스터 (Burmister's Analysis) 分析에 근거한 것이다. 實物 크기의 試驗스래브에 관한 平板載荷試驗은 <表-5> k 값이 보수적임을 나타내고 있다.

시멘트 처리된 路盤은 현재 重量 콘크리트 포장에 널리 사용되고 있다. 그것은 A-1, A-2, A-3 粒狀材料로 築造되었는데 300 psi 이상의 7日壓縮強度에 대해 설계되었고 凍結에 영향을 주는 면적에 있어서는 標準凍-解 試驗基準에 당면하게 된다. 이 基準에 당면한 시멘트 處理 路盤에 관한 설계 k 값은 <表-6>에 표시되어 있다. 가와라 포인트 (kawala point) 처리된 시멘트 처리 路盤은 非處理 粒狀 노반상의 스투브 깊이와 비교할때 스투브 두께에 1~2 in 감소를 허용하는 높은 k 값을 生成한다. 이러한 문제는 뒤에 나오는 설계 문제에서 설명케 될것이다.

荷重 安全率
(Load safety factors)

과거에는 두께設計에 荷重衝擊係數가 사용되어 왔다. ACI (American Concrete Institute) 325차 회의는 약 10%의 衝擊係數를 제시하여 20%를 제한하였고 다



*Sources for values shown are given in PCA Soil Primer

<그림-8> 흙分類와 支壓値의 近似値 상환관계

른協會에 의해서도 사용되었다. 포장에 작용하는車輛反應測定試驗은試驗車輛에 대해衝擊效果를 나타낸다. 그러나 현재는 운행중인 트럭의輪荷重이 정지한 트럭에 생기는應力보다 작다는 사실을 나타내는 실제적 증거가 있다.

Maryland 道路試驗에서 가로줄눈端에서 측정된應力은徐行速度보다 40 mph에서 15% 적었다. 3/4 in. 판자가假想줄눈결함의 포장에 가로질러 놓여 있을때應力은 예상대로 증가하기 보다는 감소하고 있었다. 같은 결과가 AAASHO 道路試驗에서 발견되었다. 最大應力이 일어나기 수분전에靜荷重이 載荷되어야 한다는 사실을 고려할때에는移動荷重에 의한減少應力을 이해할 수 있을 것이다.

移動荷重은應力을 증가시키는 대신 감소시키기 때문에 두께 설

계에 쓰이는衝擊係數는 실제로荷重安全率이 된다. Bates, Maryland, AASHO 道路試驗에서의 품질과 기능면에서의鋪裝品質은 스테브깊이 설계에 관한 적절한安全率의 사용을 뒷받침 해준다. 다음과 같이荷重安全率(LSF)이 추정되어야 한다.

① 連續的 차량의 소통 및車輛의大量體積이 예상되는各州間과 다른多車線 계획에 있어서의 LSF=1.2.

② 連續的 차량 소통 및 다른 경우에 있어 차량의 적절한體積이 예상되는街路和 도로에 있어서의 LSF=1.1.

③ 차량이 少量의體積만을 운반하는住居地域 또는他街路和 도로에 있어서의 LSF=1.0.

荷重安全率의 사용은 다음例題에서 설명한다.

다. 이 근거에 의하면設計, 材料鋪設에 결함이 있는 공사에서는 20년을 넘지 못할것이고 이런 결함이 없는 다른 공사라면 50년 이상이나 될것이다.

콘크리트 포장의 有效壽命은 처음 또는 두번째 때움을 했을때를 넘지 않는다고 인식하는 것은 보다 훌륭한工學的判斷이 될 것이다. 그럼에도 불구하고 콘크리트는 포장構造인체로主荷重傳達 요소로서 계속 사용되어진다. 콘크리트 수명에 관한 이러한 더욱 실제적인 개념에 따른 東部州에서의 연구(1963년 PCA에 의해 발표되었음)를 보면 1913년부터 1959까지의 46년간에 건설된 모든 콘크리트 포장의 96.7%가 파손 위험은 가지고 있는表面이지만荷重傳達層으로서 여하간에 아직도 유용하게 사용되고 있음을 보여 주고 있다. 콘크리트의 긴 수명이라는 것은鋪裝 또는路面의 어떤것이라도荷重傳達基礎로서 여하간에 40年設計壽命을 가지고 있음이정당하다고 본다.

設計壽命(Design life)

포장수명(pavement life)이라는 용어는 정확한 정의를 내리기가 불가능하다. 어떤工學者와 道路

協會에서는 콘크리트 포장의壽命은 최초의 때움(overlay—譯者註)이 실시될때 끝난다고 생각한

隔月刊 「시멘트」

「週刊 시멘트 情報」

韓國洋灰工業協會 調査課는 격월간 專門誌로 「시멘트」를 지금까지 42호 發刊하였습니다. 동시에 「시멘트」誌와 姊妹誌로서 「週刊 시멘트 情報」를 지금까지 75호 발행하여 國內外 시멘트工業 및 시멘트工業에 관련된 産業의 市場動向을 速報해 드리고 있습니다.