大韓土木學會論文集
第11卷 第1號 · 1991年 3月
pp. 125~134

道 路 工 學

模糊集合의 論理를 利用한 延性鋪裝의 評價技法開發

Development of an Evaluation System for Asphalt Pavement Condition Using Fuzzy Set Logic

金 光 宇* · 朴 濟 善**
Kim, Kwang Woo · Park, Je Seon

Abstract

Since comprehensive examination of flexibel pavement is complex, evaluation of its condition has been based on subjective judgements. Especially, qualitative measure of pavement has been based on linguistic expressions which often cause misinterpretation. There has been no such a criterion that can appropiately assess pavement status.

Therefore, this study was devised to develop an approach, using fuzzy set concept, for evaluation of current and expected service conditions of flexibel pavement surface course. An example study was conducted to verify its usefulness. Since arithematic operation of fuzzy set can quantify the linguistic values and translate them into illustrative models, the results shown in the example was easy for anyone to understand.

요 지

延性鋪裝의 포괄적인 검사는 매우 복잡하므로 그것의 상태평가는 피상적 판정에 근거하여 이루어지고 있다. 특히 포장의 質的 측정은 오해의 소지가 많은 口語的 표현으로 이루어져 왔다. 그리고 포장의 현 상태를 적절히 査定할 수 있는 기준도 마련되어 있지 못하다. 따라서 본 연구는 模糊集合의 개념을 이용하여 포장표층의 현재상태와 기대되는 상태를 평가하는 기법을 개발하기 위하여 착안, 수행 되었다. 그리고 이의 유용성을 입증하기 위하여 한 예제를 시범적으로 수행하였다. 口語的인 모호한 표현들을 모호집합의 수리적 계산을 통하여 量的으로 다루어서 구체적인 圖解的 모델로 전환할 수 있으므로 예제를 통하여 보여주듯이 누구나 이해가 쉬운 결과를 얻을 수 있었다.

1. 서 론

鋪裝의 현재상태를 이해하고 그 성능을 판정하는 것은 鋪裝의 유지관리를 위하여 중요한 일이다. 특히 여러도로를 관장하는 기관에서 계속적으로 변해

*正會員 · 江原大學校 農科大學 農工學科 助敎授
**正會員 · 江原大學校 工科大學 土木工學科 敎授

가는 각 도로의 상태를 잘 파악하고 事前에 계획성 있는 대책을 세우는 것은 道路管理 및 그에따른 豫算運營을 효과적으로 하게 하는데 큰 도움을 준다. 하지만 延性鋪裝(flexibel pavement or asphalt concrete parvement)의 상태를 평가하는 것은 여러가지 요소들을 고려하여야 하며, 이 요소들을 전반적이고 종합적으로 분석하기란 쉬운일이 아니다. 어떤 道路狀態가 그 技能遂行상 어느정도 단계에 있는지를 質的인 평가를 통하여 판정하는 일은 대개 口語的인 모호한 表現으로 이루어져 해석에 따른 오해의 소지가 많아 왔다. 특히 도로가 破壞나 그와 상응하는 損失등으로 인하여 차량소통에 문제가 되지않는한 일상적인 포장은 그 水準測定에 별다른 평가기준이 정립되어 있지 않다. 그러므로 著者는 이러한 문제에 착안하여, 특히 그 包括的 評價가 어려운 延性鋪裝의 상태를 模糊集合(fuzzy set)의 개념을 이용하여 해석하는 연구를 수행 하였다. 그리하여 그 결과를 포장의 현재상태의 판정은 물론 앞으로의 상태를 추정하기 위한 이해하기 쉬운 값으로 나타내는 체계적 방안을 제시하였다. 그러나 延性鋪裝은 지반부터 여러층으로 이루어져 있고 그 解析이 복잡하고 다양하므로 우선 乘車感 제공에 가장 중요한 역할을 하는 表層만 본 硏究에서는 다루었으며, 예제를 통하여 그 실용예를 보여 주었다.

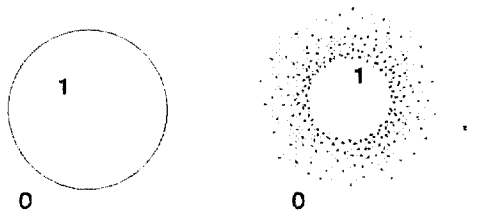
2. 模糊集合(Fuzzy Set)

1965년 Zadeh가[1] 模糊集合 槪念을 도입한 이래 이에 대한 논리가 계속 개발되어 왔지만 그것의 적용은 미흡하였다. 그러나 최근에 醫學, 工學등 科學分野에서 전문적 판별 수단으로 사용되기 시작하고 있으며, 복잡하고 모호한 문제에 대한 의미있는 해결책으로 이용되도록 개발되고 있다.

이에 때를 같이하여 북미지역에서는 North American Fuzzy Information Processing(NAFIP) Society가 결성되어 학술적 활동을 하고 있다[2].

2.1 模糊集合 論理

集合(Set)이란 같은 성질을 가진 것들의 집단(모임)으로 정의된다. 일반적인 집합이론에서는 어떤 특정집합에 속하는 元素(Membership=1)와 속하지 않는 非元素(membership=0)의 구분이 명확하다. 그러나 模糊集合은 그 元素의 구분이 0부터 1에 걸친 임의의 등급을 가진 부분으로 이루어져 경계가 不分明하다. 그림 1에서 一般集合은 元素(member)와 非元素의 경계부분이 한선으로 명확하지만, 모호집합은 그 경계부분이 구름과 같이 모호함을 보여주고 있다. 그러므로 모호집합에서는 元素 구분 여부를 0부터 1까지에 걸친 여러등급에 대한 지지도 (degree of surport)의 관계로 표현하게 된다.



(a)General Set (b)Fuzzy Set

그림 1. Description of Concepts for General Set and Fuzzy Set.

U를 對象에 대한 空間이라 하자. 그러면, U에서의 모호집합 {F}는

$$\{F\}=\{x, \mu A(x)\}, x\in F \text{ and } F\subset U \qquad (1)$$

여기서 $\mu A(x)$는 $F[0\leq\mu F(x)\leq a]$내의 x에 대한 元素의 등급이다.

만일 {F}와 {G}를 두 模糊集合이라하면 이에 대한 일반적인 표현은,

$$\{F\}=\{x(i) \mid i : 1<i<n\} \qquad (2)$$

$$\{G\}=\{Y(j) \mid j : 1<j<n\} \qquad (3)$$

여기서,

i, j, n=定義域내의 정수로 표현되는 元素

x(i), y(j)=模糊集合 {F}와 {G}를 특정지원 주는 membership function이다.

2.2 模糊集合 輕重平均(Fozzy Weighted Average : FWA)

模糊集合 輕重平均은 아래와 같이 정의 된다.

$$\{R\}=\frac{\Sigma(\{Ri\}*(Wi\})}{\Sigma\{Wi\}} \qquad (4)$$

여기서

{R}=評價對象의 전반적인 점수를 나타내는 모호집합.

{Ri}=評價對象의 특정기준에 의한 점수를 나타내는 모호집합

{Wi}=특정기준에 대한 輕重率을 나타내는 모호집합이다.

윗식 4를 수행하기 위해서는 모호집합에 대한 연산이 필요하다. 임의의 모호집합 {F}와 {G}의 덧셈, 곱셈 그리고 나눗셈은 아래와 같이 정의 된다

덧 셈 : $\{F\}+\{G\}=\{\min[x(i),y(j)] \mid (i+j);\ 1<(i,j)<n\}$ (

곱 셈 : $\{F\}*\{G\}=\{\min[x(i),y(j)] \mid (i*j);\ 1<(i,j)<n\}$ (6)

나눗셈 : $\{F\}/\{G\}=\{\min[x(i),y(j)] \mid (i/j);\ 1<(i,j)<n\}$ (7)

실제연산에 있어서 식7에서 정의된 나눗셈의 결과는 clement algorithm에 의하여 再 정리 하게된다. clement algorithm은 다음의 두가지 사항을 제시하고 있다. 첫째, i/j나눗셈에 의한 값중 整數가 아닌것은 제거한다. 둘째, 나눗셈에 의한 몫중 n보다 큰것은 버린다[3].

2.3 定規化(Normalization)

模糊集合 演算에 있어서 보다 타당성 있는 결과를 얻기 위해서는 모호집합 연산 결과에 대한 定規化를 해야한다[3, 4]. 각각의 연산이후에 그 결과에 대하여 定規化를 해야할지 여부를 판정해야하며, 만약 연산 결과가 max, $x(i)\neq z(i)$일 경우에는 아래 식 8b에 의하여 定規化를 수행하여야 한다. 임의의 모호집합 {x}에 대한 定規化(NOR)는 다음과 같이 정의된다.

만일 {Z}=NOR[X]이라면,

$\{Z\}=\{z(i) \mid i : 1<i<n\}$ (8s)

여기서,

$z(i)=x(i)/\max[x(i), 1<i<n]$ (8b)

2.4 Ranking Index

Ranking Index (RI)는 FWA계산을 수행후 얻어진 模糊集合(식 4에서의 {R})에 대한 質的인 측정수단으로 정의된다.[2, 3] 본 연구에서는, 集合이 質的으로 우수하면 RI 값이 더 크도록 정의하였다. 즉 membership function이 우측으로 치우쳐 있을수록 RI값을 크게 나타내도록 하였다. RI에 대한

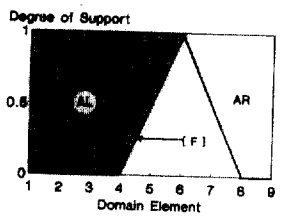


그림 2. RI for an Arbitrary Selected Fuzzy Set {F}, where, AL=4, AR=8, C=2 and RI=4−2+8 =10.

數式은 식 9로 표현되며 그림 2에서 모호집합 {F} ={0/1, 0/2, 0/3, 0/4, 0.5/5, 1.0/6, 0.5/7, 0/8, 0/9}이고, AL은 사각무늬 부분으로 면적이 4이고 AR은 점무늬 부분으로 면적이 2이며, 따라서 RI=10이다.

RI=AL−AR+C (9)

여기서 (그림 2참조),

AL=Universe내에서 membership function의 좌측면적,

AR=Universe내에서 membership function의 우측면적,

C=일정한 크기의 상수

3. 鋪裝狀態評價 및 推定에 使用되는 基準

3.1 基準(Criterial)의 설정

旣存 鋪裝의 상태는 그 위에 작용하는 荷重과 氣候의 影響 그리고 이 影響에 대한 自體抵抗能力과 시간에 따라 다르다. 그러므로 鋪裝의 性能은 크게 1) 鋪裝에 가해지는 外力 2) 鋪裝의 內的 品質, 3) 鋪裝의 外形的 品質과의 函數라 할 수 있다. 따라서 이 세가지는 포장의 상태를 판정하는 중요한 요소이다. 이 세가지 요인을 각기 變數로 볼 경우 이들 개개變數와 鋪裝의 성능과의 관계는 비교적 이해하기 쉽다. 즉 한가지 變數를 평가할때 그 나머지 變數들은 고려치 않는 평가는 쉽다. 하지만 위의 세가지를 동시에 다 고려할때 이들이 이루는 函數關係는 模糊하여 數學的 모델을 통하여 明確히 연관지어 표현하기가 쉽지 않다. 이러한 模糊한 현상에 대한 總括的인 분석의 한가지 방법으로 模糊集合 論理를 적용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 延性鋪裝의 상태평가에 모호집합 논리를 적용하

였으며 그를 위하여 위에 언급한 세가지 요소를 주 평가기준으로 설정하였으며 그에 대한 세부사항 및 보조기준은 다음과 같다.

3.1.1 鋪裝의 內的 品質

鋪裝의 內的 品質은 어떤 도로를 평가하고 또 그 기능수행 능력을 추정하는데 있어서 가장 중요한 要素일 것이다. 가장 중요한 내적품질은 아스팔트 콘크리트의 強度, 鋪裝두께, 아스팔트 콘크리트의 密度 그리고 地盤의 支持力이라 할수 있다. 強度와 두께는 鋪裝이 內的으로 輪荷重에 抵抗하여 제 기능을 유지하는데 필요한 요건이고, 密度는 鋪裝의 다짐정도에 따라 결정 되므로 工事의 堅實度를 나타내 주는 것이다. 支持力은 포장자체를 지지하는 基礎이나 기초의 부실은 표층의 외형적 손상으로 나타나므로 외형적 품질 평가에서 고려된다고 볼수 있다. 일반적으로 아스팔트 鋪裝強度의 基準이 되는 것은 引張強度이다[5]. 따라서 첫째 주 기준인 내적품질의 보조기준으로는 인장강도, 밀도, 포장두께 등 셋을 설정하였다.

3.1.2 鋪裝에 影響을 주는 外的要因

鋪裝에 가장 큰 영향을 미치는 외적 요인은 輪荷重이고 그 다음이 氣候라 할 수 있다. 車輪은 鋪裝에 荷重을 가하므로써 鋪裝內部에 荷重效果(應力)를 일으킨다. 계속되는 차량의 운행은 鋪裝에 反復荷重을 가하게 되며 粘彈性(viscoelastic)體인 아스팔트 콘크리트 내부에 應力殘有 현상을 일으켜 시간이 감에따라 永久變形이 남게한다. 따라서 交通量이 많으면 그만큼 鋪裝은 빨리 損傷되고, 輪荷重이 크면 그 損傷은 더욱 加速化된다. 따라서 도로에 일정 시간동안의 交通量과 그중 대형차량(트럭 등)이 차지하는 비율은 중요한 기준이 된다.

다음에 鋪裝에 影響을 미치는 外的要因은 氣候이다. 氣候(溫度와 濕度)는 輪荷重과 복합적으로 鋪裝에 영향을 미친다.[6] 추위는 아스팔트 콘크리트에 脆性破壞 및 凍害를 유발하며, 더위는 塑性變形과 Bleeding을 유발한다. 降雨量이 많은 지역은 대기에 濕度가 높고 지반과 포장내부에 水分이 많이 殘留하게되어 그로인한 피해가 크다. 따라서 교통량과 대형차량의 비율 그리고 기후 등 3가지가 이 주 기준의 보조평가 기준으로 설정 되었다.

3.1.3 鋪裝의 外形的 品質

포장의 외적 품질은 포장의 현재의 기능수행 능력을 나타내며 그 포장의 잠재성능을 평가하는 기준이 된다. 포장의 외형적 질은 그 표면상태와 포장의 재령으로부터 판정되어 질 수 있다. 포장의 표면상태는 도로의 긍국적 기능인 현재의 승차감으로 나타나며, 포장의 材齡은 포장의 기대성능을 대변하는 중요한 요인의 하나라 할 수 있다.

표면상태는 可視的판단이나 표면의 평탄도의 측정 등으로 판정이 가능하나 결국 표면의 손상정도에 따른다. 따라서 乘車感은 표면의 각종손상에 따라 좌우된다 할 수 있다. 하지만 표면의 손상은 rutting, pumping, cracks, pothole등 매우 다양하므로 이들을 일일이 분석평가 하는 것은대단히 복잡한 일이다. 따라서 비교적 측정이 쉬운 승차감을 나타내는 수단의 하나인 Present Serviceability Index (PSI)[7]를 측정하여 표면상태를 판정하는 방법을 이 연구에서는 사용하였다.

포장은 주어진 설계수명을 가지고 있으며 材齡이 증가함에 따라 그 상태는 저하되므로 설계수명과 비교하여 적절한 등급을 정할수 있

표 1. Main Criteria and Subcriteria for Evaluation of Pavement Condition.

Main Criteria	Subcriteria
鋪裝의內的品質 (QRT)	1.아스팔트콘크리트의引張強度 2.아스팔트콘크리트의 密度 3.鋪裝의 두께
鋪裝에 作用하는 外的影響 (EFC)	1.일일 交通量 2.대형차량 比率 3.지역별 氣候
鋪裝의 外形的 狀態 (PCD)	1.鋪裝의 表面狀態 2.鋪裝의 材齡

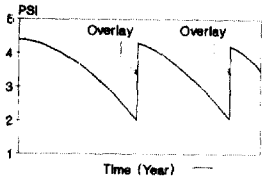


그림 3. PSI versus Service Life of Flexible Pavement.

다. 따라서 여기서는 표면상태와 재령을 보조 평가기준으로 설정 하였다. PSI와 재령과의 관계가 그림 3에 도시되어 있다. 위에 언급된 주 基準과 각 주기준의 補助基準들은 표 1에 요약하여 나타내었다.

3.2 輕重率 지정

위에 언급된 판정기준들은 보는 관점에 따라 그 비중이 더 큰것과 작은 것이 있을 수 있다. 그러므로 모호집합은 그 중요도에 따라 主基準과 補助基準에 적절한 輕重率을 주어 FWA를 계산을 하도록 되어 있다. 예를들어 기후의 영향이 다른 어느것보다 중요하다고 보면 기후지수에 최대 輕重率을 주고 나머지는 그보다 못한 輕重率을 주어 계산할 수 있다.

4. 模糊集合 設定 및 評價資料의 模糊集合으로의 轉換

4.1 模糊集合의 設定

각각의 기준의 평가를 위하여 수집된 실제 자료들은 어떤 척도에 의하여 등급으로 환산되고 그 등급에 相應하는 模糊集合으로 전환 되어야 한다.

이 연구에서는 5등급으로 模糊集合을 설정하였다. 이들은 A, B, C, D, E로 나타내며 이들 집합의 정의는 그림 4와 식 10들로 표현된다. 여기서 A는 意味상 最上, B는 優秀, C는 普通, D는 不良, E는 매우不良을 나타낸다[4]. 이 模糊集合의 정의는 본 연구자가 任意로 선정한 것일 뿐이며 사용자에 따라서 더 세밀하게 또는 더 간단하게 선정할 수도 있다.

$$A=\{0/1,\ 0/2,\ 0/3,\ 0/4,\ 0/5,\ 0/6,\ 0/7,\ 0.5/8,\ 1/9\} \quad (10a)$$

$$B=\{0/1,\ 0/2,\ 0/3,\ 0/4,\ 0/5,\ 0.5/6,\ 1/7,\ 0.5/8,\ 0/9\} \quad (10b)$$

$$C=\{0/1,\ 0/2,\ 0/3,\ 0.5/4,\ 1/5,\ 0.5/6,\ 0/7,\ 0/8,\ 0/9\} \quad (10c)$$

$$D=\{0/1,\ 0.5/2,\ 1/3,\ 0.5/4,\ 0/5,\ 0/6,\ 0/7,\ 0.5/8,\ 0/9\} \quad (10d)$$

$$E=\{1/1,\ 0.5/2,\ 0/3,\ 0/4,\ 0/5,\ 0/6,\ 0/7,\ 0/8,\ 0/9\} \quad (10e)$$

위의 모호집합 A부터 E까지에 대한 RI값들을 식9에 의해 계산해 보면 $RI_A=15$, $RI_B=12$, $RI_C=8$, $RI_D=4$, $RI_E=1$임을 알 수 있다. 여기서 RI_A는 完全(RI=16의 경우)에 가까운 값을 가지며 RI_E는 全無(RI=0)에 가까운 값을 가짐을 알수 있다.

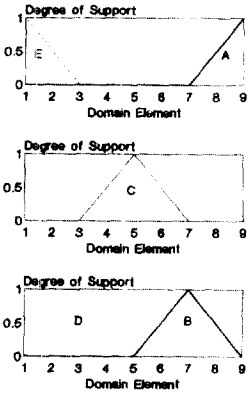


그림 4. Description of Fuzzy Sets A and E; C; B and D.

4.2 Data轉換의 尺度

각 基準의 等級尺度는 평균값에 대한 상대비교, 어떤 절대치에 대한 차이, 또는 전문가의 평가 등에 따라 그 척도가 마련될 수 있다. 각 기준에 대하여 본 연구에 사용된 등급의 척도는 표 2, 3, 4와 같다. 표 2의 첫번째 主 기준에서 TSR에 사용되는 인장강도는 현장에서 얻어진 표본으로부터 측정하거나 비파괴 시험등을 통하여 구할 수 있고, 임계 인장강도는 문헌 5를 통하여 산정 할 수 있다. SGR산정에 필요한 비중은 현장의 표본으로 부터 구하고 그 표본에 대한 이론최대 비중은 ASTM D2041에 제시된 방법으로 구할 수 있다.

도로의 교통량은 설계차선당 차량통과 대수로 결정된다. 시골지역 도로의 경우는 교통량이 일일당 100대 미만이기도 하나 주요 간선도로나 고속도로 등은 25,000대 이상이기도 하다. 그러므로 차선당 일일 교통량의 크기를 200대이하부터 적절히 구분하여 차선당 6,000대 이상되는 경우까지를 A-E로 등급을 주었다. 일반적으로 산업용 幹線道路의 경우 대형트럭이나 트레일러의 비율이 전체차량의 25%이상으로 알려져 있고 일반적으로 고속도로의 경우 20%내외[5]가 보통인것으로 알려져 있으므로

표 2. Rating Scale for Internal Quality of Asphalt Concrte Criteria

Rating	Sub−criteria		
	Tensile Strength	Density	Thickness
A	1.0≤TSR[1]	0.95≤SGR[2]	0.95≤THR[3]
B	0.9≤TSR<1.0	0.9≤SGR<0.95	0.90≤THR<0.95
C	0.8≤TSR<0.9	0.85≤SGR<0.90	0.85≤THR<0.90
D	0.7≤TSR<0.8	0.80≤SGR<0.85	0.80≤THR<0.85
E	TSR<0.7	SGR<0.80	THR<0.80

1. TSR=(Mean tensile strength)/(Criticial tensile strength).
2. SGR=(Mean S.G)/(Theoretical maximum S.G.),
3. THR=(Mean thickness)/(Designed thickness)

표 3. Rating Scale for External Effects on Pavement Criteria

Rating	Sub−criteria		
	Average Daily Traffic	Ratio of Heavy Vehicle	Regional Factor
A	TPL[1]≤ 200	HWT[2]<15	RGF[3]≤1.0
B	200<TPL≤1000	15≤HWT<20	1.0<RGF≤2.0
C	1000<TPL≤3000	20≤HWT<25	2.0<RGF≤3.0
D	3000<TPL≤6000	25≤HWT<30	3.0<RGF≤4.0
E	6000<TPL	30≤HWT	4.0<RGF

1. TPL=Average number of daily traffic per lane,
2. HWT=Ratio of heavy weight traffic in TPL(%)
3. RGF=Regional factor by AASHTO design guide (6).

표 4. Rating Scale for External Quality of Pavement Criteria

Rating	Sub−criteria	
	PSI[1]	AGE[2]
A	4.0≤PSI	AGR≤0.20
B	3.5≤PSI<4.0	0.20<AGR≤0.40
C	3.0≤PSI<3.5	0.40<AGR≤0.55
D	2.5≤PSI<3.0	0.55<AGR≤0.70
E	PSI<2.5	0.70<AGR

1. PSI=Present Serviceallity Index
2. AGR=(Servoce Life)/(Design Life)

대형차량의 비율 15%−30%를 적절히 구분하여 5등급으로 나누었다. [illegible]의한 영향을 나타내는 지[illegible], AASHTO에서 규정하고 있는 지역계수(regional factor)를 예제에서 사용하였다. 이에대한 상세한 등급기준은 표 3과 같다.

旣存도로의 승차감 상태를 나타내는 PSI는 최고 약 4.5부터 최저 2.5정도까지로 구분하고 있다. 도로를 새로 건설하여 막 포장을 마친경우 대부분 4.0 이상의 PSI값을 주며 수명이 다해 거의 비포장도로에 가까운 승차감을 주는 도로의 PSI를 2.5이하로 보고 있다.[7] 정상적인 경우 도로의 재령(age)이 늘어날수록 표면은 더쉽게 손상되며, 설계수명(design service life)의 반이상이 되면 도로의 표면은 매우 급속히 손상되기 시작한다. 또한 재령이 설계수명의 3/4되면 보수관리를 요하게 되므로 도로의 표면상태는 매우 악조건에 있게 된다. 따라서 재령은 설계수명과의 비율을 0.2−0.7선에서 그리고 PSI는 2.5−4.0이상을 5등급으로 나누었으며 그값들이 표 4에 보여지고 있다.

4.3 輕重率 尺度

輕重率의 등급에 대한 模糊集合도 임의로 표현이 가능하고 그등급도 다양하게 할 수 있다. 많은경우

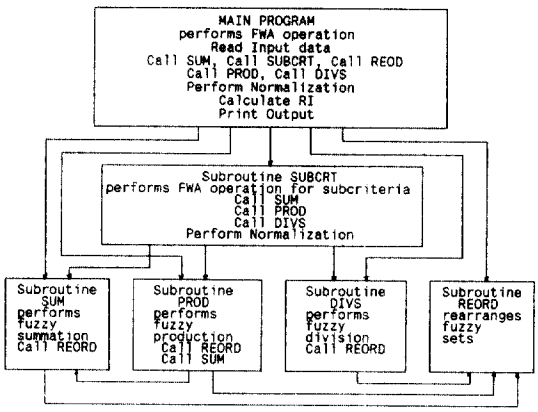


그림 5. Flow Chart of Computer Program Developed for Fuzzy Weighted Average Operation for Example Problems.

경중율은 상, 중, 하, 3등급이 사용되나 이 연구에서는 보다 세분하여 앞서 사용한 것과 같은 模糊集合을 이용하여 가장 비중이 큰 것부터 차례로 A부터 E까지 상, 중상, 중, 중하, 하 5등급으로 정하였다. 의미상으로 이들은 A=아주 대단히 중요, B=상당히 중요, C=중요, D=덜 중요, E=안 중요함을 나타낸다 할 수 있다. 실험이나 측정으로 얻어지는 Data의 경우 같은류의 Data라 하여도 偏差가 크면 그만큼 信憑性이 떨어지므로 偏差가 큰 Data에 대하여 낮은 경중율을 주도록 할 수 있다. 그외 표 3과 4와 같은 기준에 대한 경중율은 전문가가 판정하여 그 중요도에 따라 필요한 등급을 주어 사용할 수 있다.

5. 模糊集合을 利用한 舖裝의 評價 例

본 절에서는 미국 South Carolina주의 한 고속도로 일부를 두 부분으로 구분하여 그에 대한 평가예를 보여주기로 한다. 여기에서는 FWA의 산정과 RI계산을 위한 Computer program을 개발하였다. 사용된 언어는 Fortran이며 이에 대한 개략적인 flow chart는 그림 5에서 보여주고 있다.

5.1 DATA수집

본 연구에 사용된 자료는 美國 South Carolina 주의 도로국이 주내의 Interstate高速道路에 대한 각종 조사를 실시한 結果[8]중 一部를 사용하였다. 본 예제에 사용된 도로명은 I-85이며 Gerogia주와 접경으로부터 1구간인 0-35km(section1)의 35km와 2구간인 54-113km중 공사중 이었던 14km를 제외한 45km(section 2)를 각각 評價하기로 한다. 이 도로는 4차선 高速道路로 제1구간은 주위에 도시가 없는 農村地域이며, 제2구간은 하나의 도시근교를 지나 다음도시로 연결되는 도시 외각지역이다. 이 도로에 대하여 각 차선마다 0.5마일에 한개씩 coring을 실시하여 아스팥트 콘크리트의 引張強度 및 포장두께에 대한 각종 試驗을 실시 하였다. 그중 본 연구의 FWA算定에 필요하여 선정된 자료들은 표 5와 같다.

이 도로위에 가해지고 있는 교통량과 대형차량의 비율은 Traffic Monitoring Guide[9]의 자료를 사용하였으며, 지역계수는 AASHTO에서 정해 놓은 수치를 사용하였다. 그중 이 논문에서의 FWA산정에 필요하여 선정한 자료들은 표 6과 같다. 이지역 도로에 대한 PSI값은 도로의 각종 조사중 일부로 조사되었으며 도로의 재령은 덧포장(Overlay)을 실시한 후 경과된 년수를 사용하였다. 이 지역은 조사 당시로부터 5년전 거의 같은 기간에 단지 몇달의 시차를 두고 설계수명 15년의 재포장 공사를 실시하였다. 본 논문에서의 FWA산정에 사용된 자료들은 표 7과 같다.

5.2 INPUT Data

윗 절에서 수집된 자료들은 4장 2절의 data전환척도에 의하여 模糊集合 FWA산정의 INPUT값으

표 5. Internal Quality of Asphalt Concrete of 1-85 in SC

Sub-criteria	Tensile Strength		Density		Thickness	
	Mean psi	COV (%)	Mean psf	COV (%)	Mean in	COV (%)
sec.1	51.4	34.02	142.5	19.8	1.27	18.9
sec.2	54.2	38.51	144.7	23.2	1.34	17.8

표 6. External Effect on Pavement of I-85 in SC

Subcriteria	Average Daily Traffic	Ratio of Heavy Vehicle	Regional Factor
Section1	2,270	26.50%	1.5
Section2	3,310	33.41%	1.5

표 7. External Quality of Pavement of I-85 in SC

Subcriteria	PSI	Age
Section1	3.65	5
section2	3.30	5

로 전환 되었으며 그 값들은 표 8과 같다(첫째 주 기준의 臨界 인장강도는 65psi, 최대밀도 평균치는 151pcf 그리고 설계두께는 1.5inch임[5, 8]). 첫번째 주 기준인 鋪裝의 內的品質과 둘째 주기준인 外部的인 影響의 輕重率은 대단히 중요한 것으로 A를 주었으며 셋째 기준인 外形的 品質에 대하여는 輕重率 B를 주었다. 그리고 첫번째 주기준의 보조기준의 값들은 測定을 통해 얻어졌으므로 偏差測定尺度의 하나인은 變動係數의 크기에 따라 輕重率을 부여하였다. 본 연구에서 사용한 첫번째 주 기준의 變動係數(coefficient of variation : COV)에 따른 경중율의 등급은 A : COV≤10%, B : 10%<COV≤20%, C : 20%<COV≤30%, D : 30%<COV≤40%, E : 40%<COV이다. 두번째와 세번째의 輕重率은 著者가 그 중요도에 따라 任意로 지정 하였다.

5.3 結果의 解析 및 考察

위에서 언급한 computer program의 OUTPUT은 주어진 대상에 대하여 평가한 模糊集合과 그에 대한 ranking index를 계산하여 주도록 되어있다.

그리고 결과치로 나오는 RI에 대한 해석은 앞의 4장에서의 모호집합 A부터 E까지의 RI에 근거하여 다음과 같이 정의하였다.

14<RI : 매우양호, 10<RI<14 : 양호하나 관찰요, 6<RI<10 : 부분적 임시 보수요, 2<RI<6 : 상당부분보수 및 재포장요, RI<2 : 완전 재포장요

표 8의 input data를 넣고 computer계산을 하여 얻어진 I-85고속도로의 제1구간에 대한 FWA 산정결과가 그림 6을 통하여 보여지고 있다.

FWA산정으로 얻어진 한 模糊集合(식 4의 {R})의 數式으로의 표현은 {0/1, 0/2, 0/3, 0.5/4, 0.5/5, 0.5/6, 1/7, 0.5/8, 0/9}이며 그에대한 圖示 그리고 RI값이 이 그림에서 보여지고 있다. 그림으로 보듯이 제1구간에 대한 RI값은 11로써 RI의미상 해석에 의하여 「이 도로는 現在 良好하나 觀察을 요하는 상태」에 있다 하겠다. 그리고 도로의 상태는 시간에 따라 그 質이 低下되게 되므로 앞으로 시간을 두고 관찰을 하면 部分的인 補修를 요하는 상태로 가게 될것임을 알수 있다.

제2구간에 대한 FWA산정결과가 그림7을 통

표 8. Information for FWA Operation Input

Criteria (Weight)	Section	Tensile Strength		Density		Thickness	
		TSR	RATING	SGR	RATING	THR	RATING
QRT	Section 1	0.79	D	0.944	B	0.85	C
(A)	Section 2	0.84	C	0.958	A	0.89	C
Weight for Subcriteria		COV=36.5 D		COV=21.6 C		COV=18.6 B	
Criteria (Weight)	SECTION	Average Daily Traffic		Ratio of Heavy Vehicle		Regional Factor	
		TPL	RATING	HWT	RATING	RGF	RATING
EFC	Section 1	2,473	C	26.50%	D	1.5	B
(A)	Section 2	3,310	D	33.41	E	1.5	B
Wt. for Subcriteria		A		B		C	

Criteria (Weight)	Section	PSI		Age	
		PSI	RATING	AGE	RATING
PCD	Section 1	3.65	B	5	B
(B)	Section 2	3.30	C	5	B
Wt. for Subcriteria		B		A	

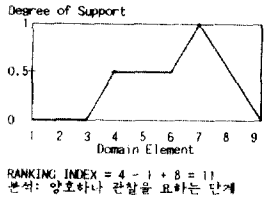


그림 6. Descritption of FWA Operation Result for Section 1 of I-85 in SE.

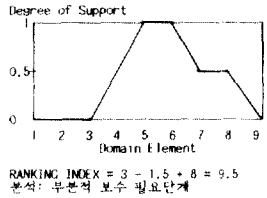


그림 7. Descripption of FWA Operation Result for Section 2 of I-85 in SC.

하여 보여지고 있다. FWA산정을 한 모호집합(식4의 {R})의 數式으로의 표현은 {0/1. 0/2, 0/3, 0.5/4, 1/5. 1/6, 0.5/7, 0.5/8, 0/9}이며 이에대한 圖示 그리고 RI값도 제1구간과 마찬가지 방식으로 이 그림으로 보여지고 있다. RI 값은 9.5이므로 이 도로는 現在 부분적으로 臨時補修를 요하는 단계로 앞의 제1구간 보다는 다소 불량한 상태에 있다 하겠다. 그리고 한동안 이러한 상태로 임시보수 및 維持管理를 필요로 하게 될것이라 할 수 있다.

6. 要約 및 結論

본 論文에서는 延性鋪裝 表層의 質的 判定 및 性能推定을 위하여 가장 중요하다고 여겨지는 3가지 主 判斷基準을 設定하고 각각에 補助基準을 設定하였다. 그리고 이에 근거하여 鋪裝을 包括的으로 평가하고 推定하는 方案을 模糊集合 論理를 利用하여 提示하였다. 본 硏究는 模糊集合 論理를 鋪裝의 質的 判定 및 性能推定에 適用 可能性을 點檢하기 위한 基礎的 段階의 것으로써 실용화에는 아직 더 많은 硏究의 소지가 있다 하겠다. 例題에 使用된 資料들은 美國의 South Carolina주의 I-85高速道路의 것이며 全體 主基準들과 2, 3번째 主基準의 補助基準 輕重率은 著者 자신의 任意의 判斷으로 指定한 것이다. 따라서 적절히 경중율을 바꾸면 새로운 결과를 얻을 수도 있을 것이다. 複雜한 演算을 처리하기 위하여 개발한 Computer Program을 이용하여 例題를 풀었으며 그로부터 얻어진 結果를 分析해본 結果, 여기서는 아래와 같은 結論에 도달하였다.

1. 임의의 鋪裝에 대한 평가를 나타내는 模糊集合의 Membership Function을 模糊集合的 數式으로 얻었을 수 있었으며 그에 대한 RI값으로부터 先定된 判定이 可能함을 보여 주었다.
2. 위에 언급한 模糊集合의 Membership Function을 그림으로 나타내므로써 質的判定에 있어서 模糊한 口語的 表現方法에서 탈피하여 보다 이해하기 쉬운 合理的 表現을 얻게되었다.
3. 두개이상의 道路를 比較 評價할때 RI값으로부터 相對的인 比較를 얻는데 模糊集合 論理의 이용은 매우 유효하다.
4. 模糊集合의 等級을 더 세분화 하거나 Membership Function을 더 다양하게 하고, RI기준도 細分化하면 보다 상세한 판정이 가능할 것이며, 輕重率 지정의 척도를 보다 더 硏究하여 體系를 세우면 이 방법은 더 유용할 것이다.

감사의 글

본 연구는 1986-1990년 미국 Clemson대학교 토목공학과 Dr. Burati에게 수여된 National Science Foundation의 Presidential Award연구비의 일부로 지원된 것이며 논문 작성은 강원대학교의 시설을 이용하였습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Zadeh, L., "Fuzzy Sets," *Information and Control*, Vol.8, 1965.
2. Juang, C.H. and Kalidindi, S.N., "Development and Implimentation of A Fuzzy System for Tender Evaluation on Micro-computers," Proceedings, *North American Fuzzy Information Proceesing Society Workshop-NAFIPS 1987*,

Purdue University, IN, 1987.

3. Juang, C.H. and Kalidindi, S.N., "BETS Program Documentation," *Engineering Report*, Department of Civil Engineering, Clemson University, Clemson, SC, May 1987.
4. Kim, K.W. and Amirkhanian, S.N., "Evaluation of Effctiveness of ASAs using Fuzzy set procedure," Inpress for *Transportation Research Record*, National Research Council, Washington, D.C., 1991.
5. Kim, K.W. and Burati, J.L., "Probabilistic Approach to Evaluating Critical Tensile Strength of Bituminous Surface Courses," *Transportation Research Record 1171*, National Research Council, Washington, D.C., 1988.
6. Van Til, C. J., et al, "Evaluation of AASHO Interim Guides for Design of Pavement Structures," *NCHRP 128*, Washingtion, D.C., 1972.
7. Yoder, P.J. and Witczak, M.W., *Principle of Pavement Design*, 2nd. Ed., John wiley and Sons, Inc., 1975.
8. Burati, J.L. and Kim, K.W., "Coring of I-85," *Final Report*, Submitted to south Carolina Department of Highways and Public Transportation, Departement of Civil Engineering, Clemson University, Clemson, SC, 1987.
9. *Traffic Monitoring Guide*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Highway Planning, June 1985

(接受 : 1990. 10. 29)