

미국의 성능 관련 시방서 (Performance Related Specification) 관련 과제 소개(2)

품질관련시방 소프트웨어 (QRSS : Quality Related Specification Software)



정 명 구 | Pavement Engineer/AMEC Earth&Environmental, Inc.

1. 서론

이 글은 지난호(2011년 6월, 제13권 제2호)에서 기술한 “NCHRP 9-22 과제에서 개발된 PRS의 특징, 문제점, 그리고 개선사항[1]”에 이어지는 글로 총 세 편으로 이루어진 기사의 두번째 편이다. 이번 호에서는 NCHRP 9-22 과제의 결과물인 성능관련 시방 소프트웨어인 QRSS(Quality Related Specification Software)를 소개하고자 한다.

QRSS는 체계적인 아스팔트 포장 품질관리를 위해 개발된 소프트웨어이다. 이름에서 알 수 있듯이 성능시방을 바탕으로 만들어 졌으며, 1편에서 소개된 NCHRP 9-22 과제의 주요 성능시방의 특성들을 포함하고 있다. QRSS는 ‘C#’ 프로그래밍 언어를 이용하여 개발하였으며 2011년 9월 현재 알파버전(Alpha Version)을 출시하여 개발자와 연구자 사이에서 디버깅(Debugging)과정을 거치고 있다. 2011년 12월 중에 포장 품질관리 실무자들에 의한 프로그램 평가를 위해 베타버전(Beta Version) 출시를 목표로 하고 있다.

알파 및 베타버전의 QRSS는 사용자의 편의를 생

각하는 유저 인터페이스(User Interface) 보다는 프로그램 알고리즘의 합리성, 계산과정의 정확성을 중점으로 개발되었기때문에, 전체적인 화면구성 및 입출력 과정에서의 사용성 및 편의성은 다소 떨어진다. 이는 향후 여러 피드백과정을 거쳐 개선되어질 예정이다. 본 기고에서는 QRSS의 개략적인 구성과 주요한 특징들, 그리고 입출력 변수들을 여러 QRSS의 실제 화면들과 함께 살펴보고자 한다.

2. 본론

2.1 전체 화면 구성

QRSS는 네개의 창으로 나뉘어져 있다(그림 1 참조). 왼쪽 상단부터 아래로, 품질관리를 하고자하는 포장공사의 일반정보창(Project Information), 자료 입력 항목 간의 이동을 자유롭게 하는 네비게이션 트리 창(Navigation), 분석된 개별 포장손상 결과를 선택할 수 있는 결과창(Output), 이렇게 세개의 작은 창이 있고, 사용자의 자료 입력과 계산 결과를 보

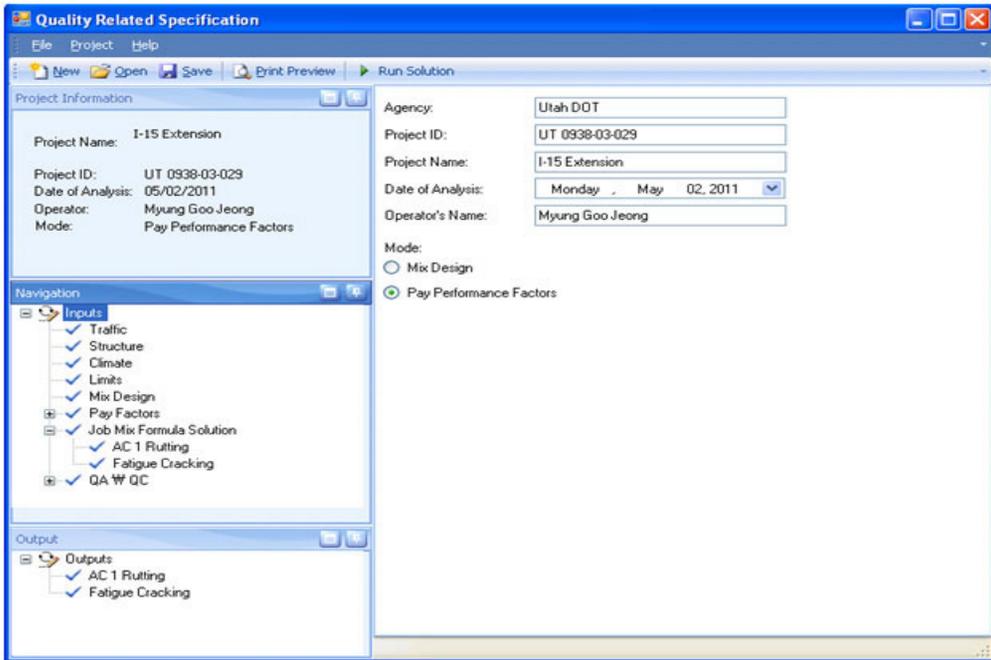


그림 1. QRSS 전체 화면 구성

여주는 주화면(Main Screen)은 오른쪽에 위치한다.

2.2 분석모드 (Mode) 선택

QRSS를 이용해 새로운 파일을 생성하는 경우 (즉, 새로운 프로젝트의 분석을 시작하는 경우), 사용자는 다음과 같은 두가지 분석모드(Mode)중 하나를 선택해야 한다.

- 혼합물 설계(Mix Design) : 이 모드는 혼합물의 단순 공용성 예측을 위해 사용한다. QRSS는 공용성 예측모델(피로균열, 소성변형, 저온균열)을 이용하여 설계수명 직후의 손상정도를 예측한다. 사용자는 예측된 결과값들을 통하여 설계된 포장구조와 혼합물이 시방에 적시된 기준에 만족하는지 알 수 있다. 사실, 이 기능은 MEPDG의 혼합물 및 포장 구조 평가 기능과 매우 흡사하지만, 매우 빠른 속도로 포장 손상을 예측한다. 또한, 동탄성 계수(Dynamic Modulus) 실내 실험을 위한 유효 온도 및 진동수도 함께 계산되어진다. 단, 이 모드

에서는 확률적 분석 대신 직관적 분석방법만 사용되고 있음을 유의하자.

- 성능시방(Pay Performance Factors): 성능시방 모드를 선택하는 경우, 혼합물 설계모드에서 수행되어지는 공용성 예측을 먼저 실행한 후, 시방기준을 통과한 혼합물에 대한 성능시방분석을 수행하게 된다. 시방기준을 만족하는 설계 혼합물/포장구조를 표준으로 삼아, 실제 시공된 포장재료의 품질을 성능시방을 통하여 상대평가한다. 즉, NCHRP 9-22에서 개발된 모든 성능시방의 특성은 이 성능시방 모드를 이용하여 현장 포장의 품질관리를 하게 된다. QRSS의 성능시방을 바탕으로 하는 품질관리의 주된 기능이다.

2.3 주요 입력 변수

2.3.1 기본 입력 변수

기본 입력 변수들은 크게 교통 변수, 포장구조 변수, 기후 변수, 그리고 설계공용성 기준 변수로 나뉜

다. 이 중 교통, 기후, 포장구조 변수들은 설계 및 현장 혼합물에 공통적으로 쓰인다. 각 항목의 세부 변수들은 다음과 같다.

- 교통량 변수: 설계속도, 설계 수명, 개통후 첫해의 일일평균교통량, 교통량 연 증가율
- 포장구조 변수(그림 2 참조): 아스팔트 포장두께, 골재층 두께 및 강도, 노반강도

- 기후 변수(그림 3 참조): 연평균 온도, 월 표준편차의 평균, 연평균 풍속, 연평균 일조량, 연 누적강수량
 - 설계공용성 기준 변수: 아스팔트 소성변형 허용치, 피로균열 허용치, 온도균열 허용치
- QRSS의 특징 중 하나는 입력변수의 단순화이다. 교통량의 경우 입력된 변수들을 이용하여 전체 누적

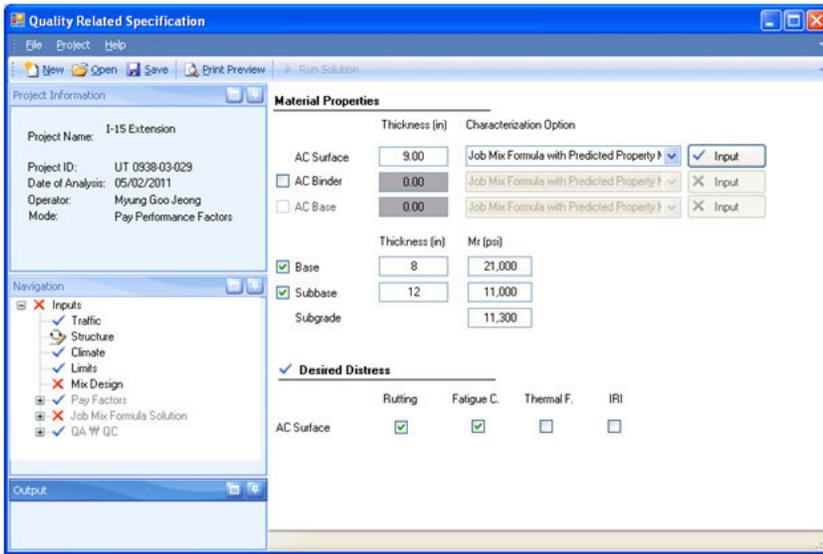


그림 2. 포장구조 변수 입력 화면

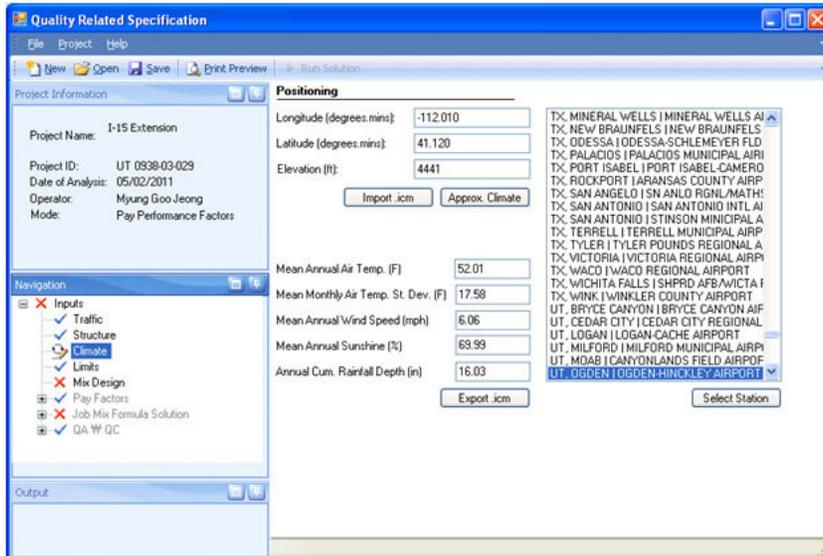


그림 3. 기후 지역 선택 화면

등가단축하중(ESAL: Equivalent Single Axle Load)을 계산한 후, 이 값을 공용성 예측 모델에 적용한다. 이는 매우 복잡한 형태의 MEPDG 교통 입력변수를 단순화 한 것이다. 또한, 포장 하부구조의 경우, 골재층 및 노반의 입력 변수를 최소화 하여 포장층 두께 및 회복탄성 계수(Resilient Modulus)만을 입력변수로 사용하고 있다. 기후 변수의 경우, MEPDG와 동일한 기후 선택 형태를 사용하지만, QRSS는 지역 선택 후, 주요 기후 인자를 계산 후 포장 손상 예측 모델에 사용한다(소성변형, 피로균열만 해당. 저온균열의 경우 MEPDG와 동일하게 전체 기후자료를 모두 사용).

2.3.2 설계 혼합물을 위한 입력 변수

설계 혼합물의 손상예측을 위하여 사용자가 입력해야 하는 주요 변수는, 그림 4에 보여지는 것 처럼, 아스팔트 함량, 혼합물 현장 다짐 직후의 설계 공기량(Target In-Place Air Voids), 혼합물의 이론상 최대 단위중량(G_{mm}), 아스팔트 타입, 아스팔트 단위

중량, 혼합 골재의 단위중량(G_{sb}), 그리고 혼합 골재의 조립율(%passing)이다. 회색으로 처리된 셀들은 입력되는 변수값들을 바탕으로 계산되거나 예측되는 값들이다. 이 변수들은 설계 혼합물 동탄성계수의 예측을 위하여 사용되고, 예측된 동탄성 계수는 포장손상모형의 주요 변수로 사용된다. 1편에서 언급한 것처럼, 현재 개발중인 QRSS는 동탄성계수를 주요 혼합물 인자를 1999년에 개발된 Witczak 동탄성계수 예측 모형을 이용하여 예측한다[2].

2.3.3 현장 혼합물을 위한 입력 변수

현장에 포설된 혼합물의 품질 평가를 위해, 현장에서 시공 후 각 구간(LOT)별로 현장 혼합물에 대해 측정하여 여러 인자들을 QRSS의 QA/QC 항목에 입력하게 된다. 설계 혼합물과 마찬가지로 입력된 인자들은 손상 예측 모형의 변수들로 사용된다. 주요 입력 변수는 다음과 같다.

- 일반정보: 각 구간에 포설된 혼합물 양을 입력한다. 구간의 정의는 일반적으로 두 가지로 나뉘는데, 같은 양의 단위 포설량(Constant Tonnage) 혹은 일일 포설량(Daily Production)으로 정의할 수 있다. 포장공사가 총 몇 구간에서 나뉘었는지도 일반정보에 입력한다.
- 혼합골재의 조립율: 각 구간에 포설된 혼합골재의 샘플을 채취하여 네가지 주요 골재의 조립율(19.0mm, 9.5mm, No.4, No.200)을 입력한다.
- 혼합물 정보: 각 구간에서 채취한 샘플의 아스팔트 함량, 이론상 최대 단위중량(G_{mm}), 현장 공기량을 입력한다(그림 5 참조).
- 아스팔트 정보: 현장에서 사용한 아스팔트 형식을 입력한다.

아스팔트 포장이 여러 층인 경우, 각 층은 서로 다른 혼합물을 사용하므로, 혼합물 정보를 각각 따로 입력해야 한다는 사실에 유의해야 한다. 현장 혼합물 입력이 끝나면 QRSS는 실시간으로 각각의 인자별로 간단한 통계분석을 실행하여 사용자에게 보여준다. 그림 5에 보여지는 것 처럼 인자 입력 화면에 네 개

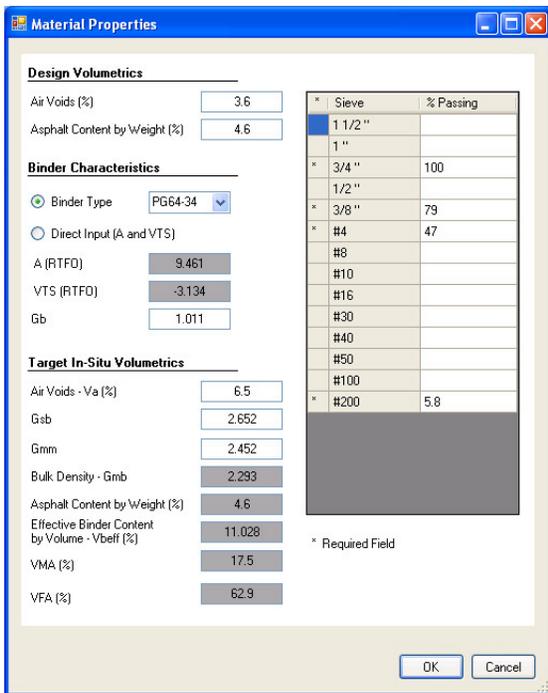


그림 4. 설계 혼합물 변수 입력 화면

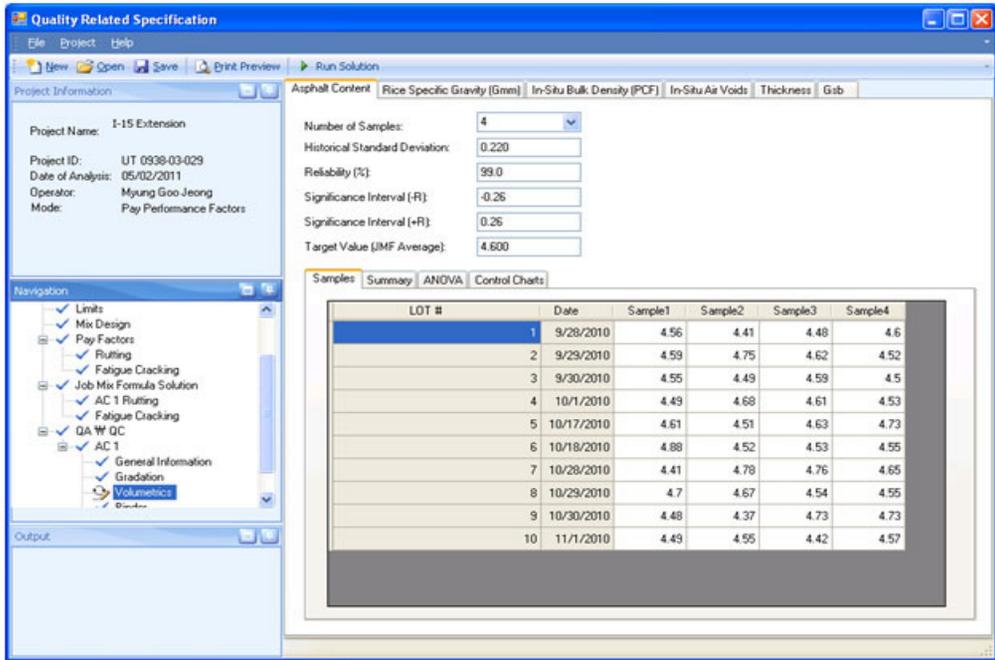


그림 5. 현장 혼합물 정보 입력 화면

의 탭이 있다. 요약(Summary)탭에서는 평균, 분산, 구간(Range), 변동계수(Coefficient of Variation) 등 기본적인 통계치들이 계산되어지며, ANOVA 탭에서는 분산분석(Analysis of Variation)을 실행한다. 마지막 탭에서는 품질관리에서 일반적으로 사용되는 평균진행차트(Average Chart)와 구간진행차트(Range Chart)가 제공된다.

2.3.4 기타 입력 변수

설계 및 현장 혼합물에 대한 변수 입력 외에 프로그램 실행에 반드시 필요한 기타 입력 변수들은 다음과 같다.

- 지불계수 : 지불계수는 설계 혼합물과 현장 혼합물의 품질차이를 바탕으로 시공자에게 얼마만큼의 보너스 혹은 페널티를 부과할 것인가를 정하는 매우 중요한 입력변수이다. QRSS는 입력된 지불계수를 바탕으로 지불계획을 그래프로 나타낸다 (그림 6 참조).
- 손상가중계수 : 선택된 지역 혹은 공사의 특성에

따라 포장손상별로 가중치를 둘 수 있다. 손상가중계수의 합은 1이 되어야 함을 유의하자.

- 공사비용 : 포설된 혼합물의 단위중량 당 공사비를 입력하여 전체 공사비를 계산한다. 이는 최종 보너스 및 페널티 계산에 사용된다.
- 평탄성 : 포장 직후 단위 구간당 실측된 국제 평탄성 지수(IRI : International Roughness Index)를 입력한다. 이는 선택항목으로 평탄성을 최종 지불계산에 사용하지 않을 경우 입력하지 않아도 된다.

2.4 프로그램 실행

모든 변수들의 입력이 끝난 후 프로그램 실행을 하게되면, QRSS는 설계 포장수명(Design Period) 동안 예상되는 포장 손상을 예측한다. 이 예측과정은 1편에서 주지한 것 처럼, 통계학적 분석을 통하여 (Monte Carlo 및 Rosenblueth 분석 기법), 평균과 표준편차를 계산하여 통계 분포 곡선 형태로 표시된

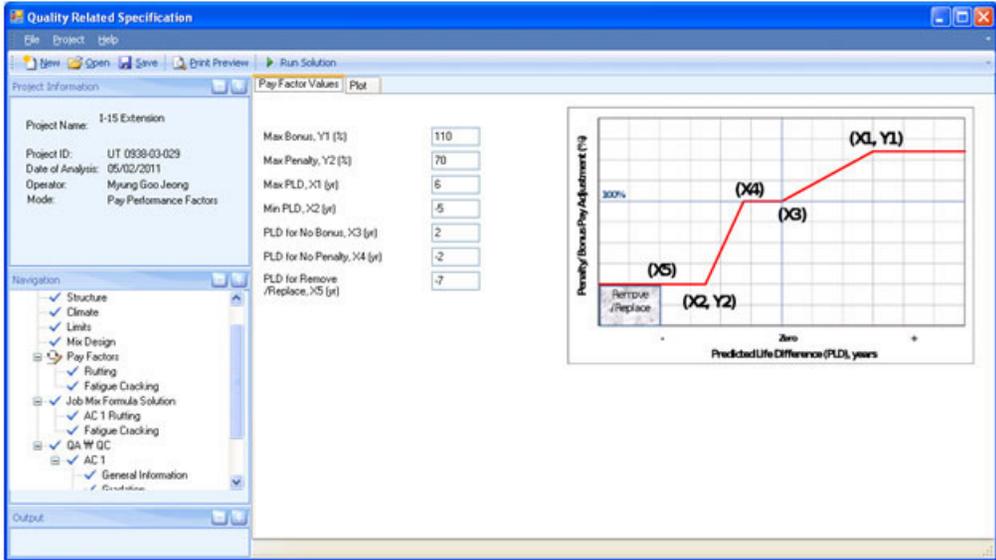


그림 6. 지불계수 입력 화면

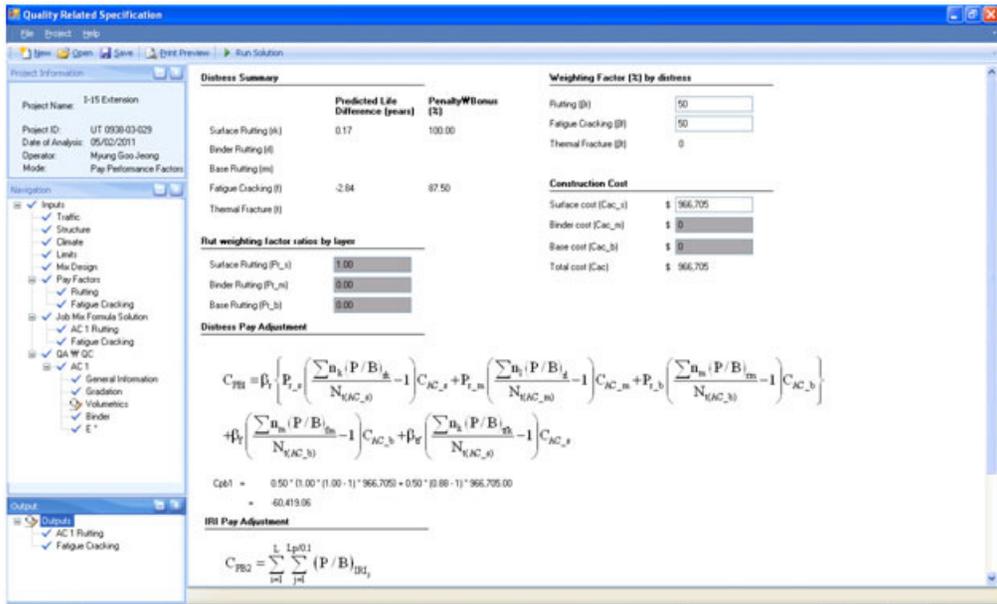


그림 7. QRSS 실행 결과 초기 화면

다. 설계 혼합물과 현장에 포설된 현장 혼합물, 이 두 가지 혼합물의 예상 수명을 비교하여 평균 수명의 차를 계산한 후, 이 예측수명차(PLD: Predicted Life Difference)를 지불계획 곡선의 변수로 사용하여 최종 지불금액을 산정한다.

2.5 실행 후 출력(Output)

그림 7은 실행 후 초기 결과 화면을 보여준다. 분석된 포장손상별 예측 수명차 및 평균 지불금액이 요약되어 보여지며, 사용자가 기타 입력변수에서 설명

된 손상 가중 계수와 단위 공사비용을 입력한 후, QRSS는 최종 지불금액을 산정한다. 개별 포장손상 항목을 선택하면, 결과 요약화면(Summary), 결과 상세화면(Detailed Output), 구간별 결과 비교 그래프(Plots)을 포함하는 세가지 탭으로 이루어진 화면이 나타난다.

2.5.1 결과 요약 화면(Summary)

결과 요약 화면에서는 그림 8에 보여지는 것처럼 선택된 포장 손상의 구간별 평가가 요약되어 나타난다. 구간별 포장물량, 지불금액 등을 포함한다. 또한, 포장공사가 행해진 지역의 기후정보, 교통정보 등, 기본적인 정보들도 함께 보여진다.

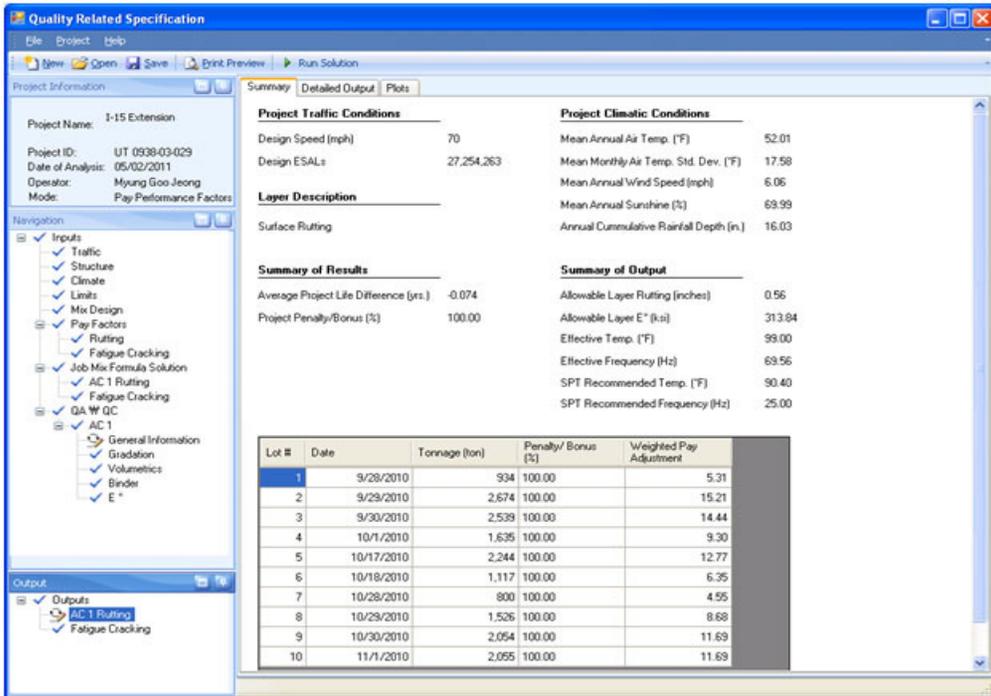


그림 8. QRSS 실행결과: 구간별 결과 요약 화면

2.5.2 결과 상세 화면(Detailed Output)

두번째 탭에서는 선택된 포장 손상의 각 구간별 상세한 결과를 보여준다. 날짜, 공사물량, 현장 포장 공기량, 아스팔트 함량, 유효온도 및 유효진동수, 동탄성 계수의 평균과 표준편차, 예측 포장수명의 평균과 표준편차, 예측수명차, 신뢰도, 계산된 구간별 지불금액 등이 표시된다.

자는 두개의 곡선을 비교하여, 어느 구간의 포장 품질이 상대적으로 양호한지 혹은 불량한지를 쉽게 알 수 있다.

2.5.3 구간별 결과 비교 그래프(Plots)

세번째 탭은 각 구간별 설계-현장 혼합물의 누적 분포곡선을 비교하여 보여준다(그림 9 참조). 사용

3. 맺음말

현재 미국의 대부분 주에서는 전통적인 재료 및 방법 시방을 바탕으로 하는 포장 품질관리 프로그램(주로 Microsoft EXCEL 이용)을 개별적으로 개발하여 사용하고 있는 실정이다. QRSS개발의 궁극적

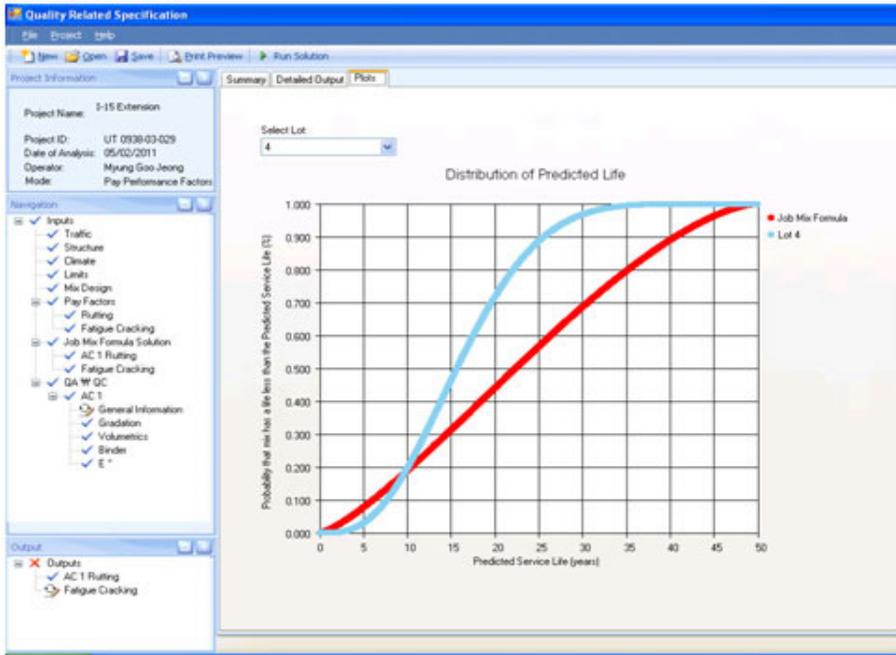


그림 9. QRSS 실행 결과: 구간별 포장 수명 분포 곡선 비교 그래프

인 목표는 성능시방을 바탕으로 하는 포장 품질관리 프로그램인 QRSS를 미국 내 모든 주에서 통합하여 사용할 수 있도록 하고자 함이다. 이 목표가 실행되기까지는 아마도 장기간에 걸쳐 여러 차례의 프로그램 개선이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 각 주의 도로포장 실무자, 프로그램 개발자, 그리고 연구자 간의 토론도 필요하며, 상호간의 협조, 그리고 미 연방정부의 지원도 필수불가결하다.

여러차례 주지한 바와 같이, NCHRP 9-22 과제를 통하여 개발된 QRSS는 동탄성계수를 아스팔트 혼합물의 주요개별 인자들을 변수로 하는 Witczak의 동탄성계수 예측 모형을 이용하여 설계 및 실제 시공된 포장의 공용성을 평가하고 있다. 현장에 포설된 혼합물의 시료를 채취해 직접 실험을 통하여 동탄성 계수를 측정하여 공용성을 평가하는 것이 보다 정확한 공용성 예측 방법이라는 것은 명백한 사실이다.

이러한 노력이 현재 NCHRP 9-22A 과제를 통하여 수행 중이다. 본 기고의 마지막 편인 다음 호에서는 현재 진행중인 NCHRP 9-22A 과제를 알아보는 지면을 갖도록 한다.

참고 문헌

1. 정명구(2011), 미국의 성능 관련 시방서(Performance Related Specification) 관련 과제 소개, 한국 도로 학회, 제 13권 2호.
2. Andrei, D., Witczak, M. W., Mirza, M. W. Development of a Revised Predictive Model for the Dynamic(Complex) Modulus of Asphalt Mixtures, NCHRP 1-37A Interim Team Report, University of Maryland, March 1999.