

도로횡단 파형강판 수로구조물 수리계산용 프로그램 개발



최 인 호 | 서일대학 토목과 교수

국내에서는 파형강판을 이용한 배수 시스템이 생소한 분야이지만, 미국의 경우 신뢰할 수 있는 기술과 광범위한 시공으로 인해 파형강판이 배수 시스템 분야에서 주요한 역할을 하고 있다.

파형강판이란 2.7mm~7.0mm 두께의 강판을 성형하여 파형을 가지는 단면을 만들어 줌으로 강판의 강성을 증가시켜 사용하는 구조물로서, 보통 150mm × 50mm의 크기를 가지는 파형으로 제작하여 사용한다.

이러한 파형강판은 두께별로 파형중심에 대한 단면 계수가 같은 두께를 가지는 일반강판의 10 ~ 30배로서 용접이 없이 박판을 보강하여 사용하는 방식이라고 할 수 있다. 이러한 파형강판을 아연도금하여 현장에서 단순한 볼트연결로서 구조물을 완성할 수 있으므로 공기단축 및 공사비 절감의 효과가 큰 구조물이다.

또한 이러한 파형강판을 지중구조물로 사용할 경우에는 지반과 파형강판의 합성작용에 의해 외부하중을 견디게 되어 하중으로서만 고려가 되던 지반이 하

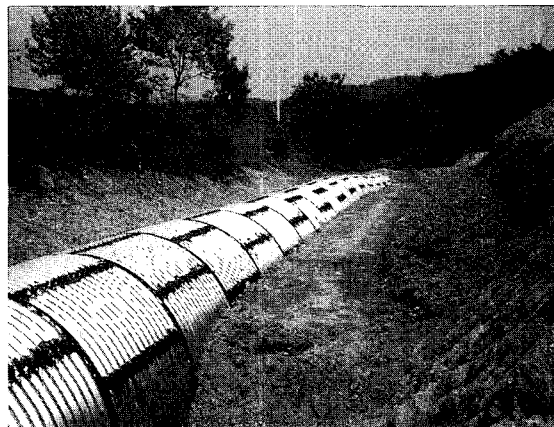


그림 1. 파형강판을 이용한 국내시공사례(소규모 교량 및 수로용 암거)

중을 받아주는 구조물과 같은 효과를 보이게 된다. 또한 구조물 자체가 연성구조물로서 부등침하 등에 유연하게 대처하여 기존의 콘크리트 지중구조물의 단점을 보완할 수 있는 장점도 가지고 있다.

본 연구는 도로횡단 파형강판 수로구조물 수리계산용 프로그램을 개발하는데 있으며 합리식을 이용하여 유역홍수량을 산정한 후 파형강판의 단면특성을 고려하여 프로그램화 하였다.

1. 합리식

연구를 수행하는 수문학자나 실무에 종사하는 기술자들에게 지속적인 관심사 중 가장 기본적이면서도 중요한 사항은 ‘유역 특성을 고려한 홍수량 산정’이라고 할 수 있다. 홍수량을 산정하는 강우 유출 모형에는 합리식, 가지야마공식, 단위도법, 유역 홍수추적법, 저류함수법, 탱크모델 등 여러 가지가 있다. 그중 합리식(Rational Method)은 구조가 간단하고 사용이 간편한 Desk-Top Method이므로 수문학 기초

가 부족한 기술자뿐만 아니라 전문 기술자도 상황에 따라서 적절하게 사용할 수 있는 홍수량 추정 방법으로 도로 배수, 암거 설계 및 소유역의 홍수량을 산정할 때 많이 사용되고 있다.

수문학적인 물의 거동은 아래 그림과 같은 물의 순환과정에 의해 알려져 있다. 여러 가지 요인에 의해 증발산된 수증기가 구름을 형성하고 강수가 시작한다. 일부는 침투되거나 침루되고 일부는 저류되거나 식생에 의해 차단된 후 나머지가 직접유출에 기여하여 하천에서 바다로 유입된다. 침루된 강수도 지하수를 형성해 하천이나 바다로 유입된다.

유역 내 유출에 대해서만 살펴보도록 하자. 초기 강수의 대부분은 식생이나 건물에 의한 차단(Interception)되고 지면에 도달한 강우는 침투되어 심층으로 침루된다. 침루된 강수는 모반암 저류지에 모인 후 기저유출을 이루어 하천으로 유입되기도 한다. 장기적인 강우-유출 해석의 경우에는 증발산의 영향도 고려된다.

강수가 발생하면 차단, 표면저류, 증발, 침투 등의 손실(abstraction)을 제외한 초과강수(Excess pre-

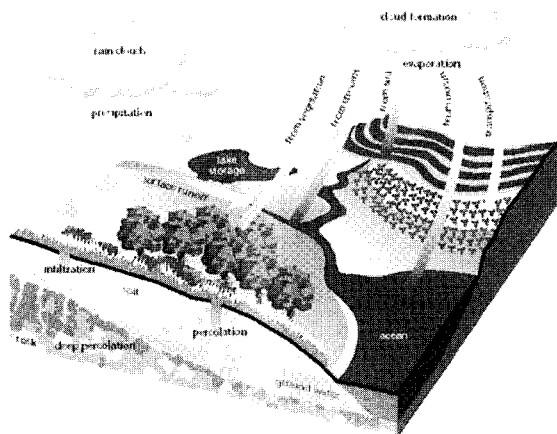


그림 2. 물의 순환과정

precipitation)부분이 지표유출을 발생시킨다. 여기서, 초과강수량 초과강수-지표유출에 직접 기여하는 강수부분으로 강우만으로 구성시 초과강우(rainfall excess)라 한다.

합리식의 유출계수는 이러한 손실을 나타내는 무차원인자이다. 손실 중 침투는 가장 큰 손실인자가 되며 지형, 토지이용, 토양, 지질, 토양의 수분상태(선행강우) 등에 의해 지배된다.

일반적으로 합리식을 적용할 수 있는 유역면적은 대략 10km² 이하로 알려져 있으며, 유출계수에 영향을 미치는 인자로 지표면 피복상태, 유역의 형상 및 지형(경사도), 침투(토양특성과 밀접한 관계가 있음)와 기타 강우손실(식생에 의한 차단과 증발산), 강우강도의 변동성(강우의 시간분포에 따른 변화), 유역의 저류량(하도 및 유역내 저류), 선행토양수분 등이 있다.

합리식은 아일랜드에서 Mulvaney(1850)가 최대 홍수량을 산정하기 위하여 처음 제안하였다. Beardmore(1862)은 지형, 지질의 분류와 홍수용적, 침투유량, 강우량 자료 등을 이용하여 설계홍수량을 추정하기 위해 합리식을 연구하였다. Kuichling(1880)은 유출량과 강우강도 관계, 유역의 크기와 도달시간 등의 관계를 규명하여 미국 내 계속유역에 대한 합리식을 제시하였다.

그 후 합리식은 많은 연구자들에 의해 새롭게 제시되어 왔으며, Lloyd와 Davies(1906)은 합리식을 영국에서 처음으로 적용하였고, Grefory와 Arnold(1932)는 일반적인 합리식을 제시하였으며, Schaake 등(1967)은 도시지역에 대하여 French 등(1974)은 농촌지역에 대하여 합리식을 구체화 하였다.

합리식은 좌우항의 단위가 서로 일치하기 때문에 합리식이라 불리워졌으며 강우강도를 유출계수를 이용하여 침투홍수량으로 바꾸는 일종의 강우-유출모형이라고 할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{3.6} CIA = 0.2778CIA \quad (1)$$

여기서, Q는 침투홍수량(m³/s), C는 무차원 유출계수, T는 도달시간을 강우지속기간으로 하는 특정발생빈도의 확률강우강도(mm/hr), A는 유역면적(km²)이다.

2.파형강판 단면

도로횡단 파형강판 수로구조물 수리계산용 프로그램 개발하기 위하여 사용된 파형강판의 형태별 단면도를 아래 그림에 제시하였다. 그림에서 원형, 파이프 아치형, 언더패스형, 수평타원형의 경우에는 일체형 구조물이며 반원아치형, 높은아치형, 낮은아치형은 하부시설로 옹벽구조물이 단면적에 포함된다.

각 단면별로 다양한 형태의 제원이 있으며 배수시설물의 수리계산시 RISE(H)의 80%로 규정한 것은 최대통수단면과 여유고를 고려하여 산정한 것이며 이때의 윤변, P와 경심, R을 도면상에서 구해내어 프로그램화하였다.

반원 아치형과 높은 아치형, 낮은 아치형의 경우 하부시설로 옹벽구조물이 들어가므로 합성조도계수와 합성 단면적을 이용하여 실제 단면의 단면적과 해당하는 윤변, 경심을 얻게 된다.

3.암거의 수리학

도로횡단 파형강판 수로구조물은 암거형태로 설계 순서는 (1) 현장 자료 수집, (2) 실제 도로에 관한 자료 수집, 그리고 (3) 빈도수를 결정하여 최고수위를 적당히 가정, (4) 고속도로, 도로, 철로, 또는 인접한 토지에 최대한 피해가 발생하지 않도록 흐름(토사를 포함함)을 조절하는 경제적인 파형강판을 설계하는 것이다.

고려해야 할 항목들은 구조물의 형태, 개수로의 면

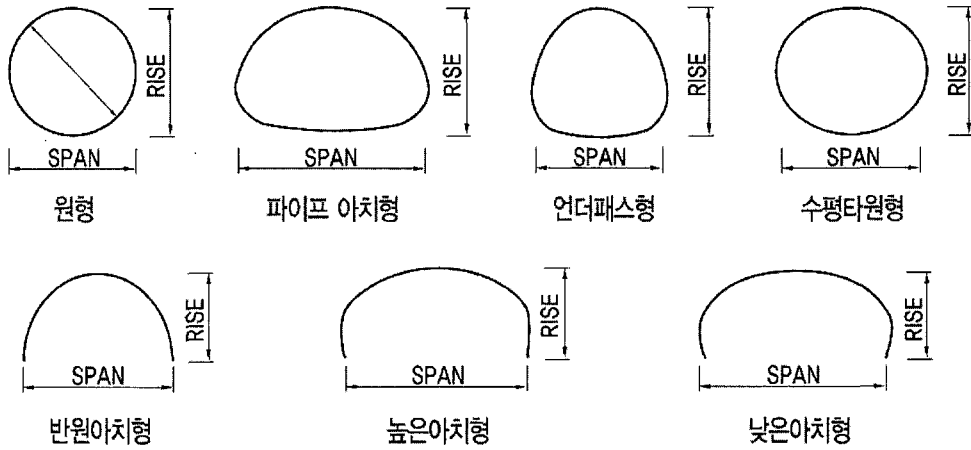


그림 3. 각 단면의 단면도

적과 형태, 암거의 대략적인 길이와 경사, 유입구와 유출구의 처리가 포함된다.

1) 암거의 구성(형식)

“좋은 도로 암거”를 만들기 위해 ASCE(미국 토목 학회)는 다음과 같은 사항을 권장하고 있다.

- ① 암거의 유입구와 유출구의 부가시설은 흐름의 모든 단계에서 물, 소류표사, 부유물을 알맞게 처리해야 한다.
- ② 암거는 어떤 불필요한 특성을 갖거나 암거가 가져야 할 특성이 지나치게 손상되어서는 안 된다.
- ③ 보통 구조물의 상, 하부에 설치되는 암거는 피해를 발생시킬 만큼의 흐름의 변화 없이 유출수를 운반해야 한다.
- ④ 장래의 수로와 도로 개량에 대해 원활하게 대처할 수 있도록 설계되어져야 한다.
- ⑤ 흙이 다져진 후에 적절하게 기능을 발휘할 수 있도록 설계되어져야 한다.
- ⑥ 모기들이 번식할지도 모르는 정체되어 있는 웅덩이가 있어서는 안 된다.
- ⑦ 예상된 토지개발에 의해 야기되는 증가된 유출수를 잘 처리하도록 미래에 대한 사용성을 고려

하여 설계되어야 한다.

- ⑧ 암거는 수리학적으로는 설계 유출량을 적절하게 다룰 수 있어야 하고 구조적으로는 영구성과 유지관리가 편리하도록 축조되어 경제성을 보장할 수 있어야 한다.
- ⑨ 암거는 재료손상, 암거막힘, 흙의 포화, 혹은 부유물이 상류에서 정체되는 것 등을 일으킬 수도 있는 유입구의 정체를 피하여 설계되어야 한다.
- ⑩ 암거의 유입구는 암거의 기능을 저하시키는 이물질들이 암거를 통하여 흐르지 못하도록 스크린을 설치해야 한다. 암거로 유입되는 흐름을 원활하게 하기 위하여 필요하다면 기울기를 변화시켜 유속을 변화시킨다.
- ⑪ 암거 유출구의 설계는 도로용지 안이나 암거에서 비교적 짧은 거리의 웅만한 부식 없는 수로 흐름을 재가설하는데 효과적이어야 한다.
- ⑫ 유출구는 세굴과 유실에 저항할 수 있도록 설계해야 한다.
- ⑬ 만약, 감쇠장치(에너지 분산장치)를 사용한다면 그 장치는 간단하고 쉽게 설치할 수 있어야 하며 경제적이고 평온한 흐름이 있는 동안에는 적당한 자정능력이 있어야 한다.

2) 설계 방법

암거는 안전된 결과를 얻을 수 있도록 설계되어야 한다. 순수 유체역학은 실제 현장조건하에서 안정된 시공이 가능하도록 실제적인 고려사항들과 결합되어야 한다.

아래의 위험조건에 기초하여 담수가 허용되는 각 현장에서 위의 사항은 규정되어야 한다.

- ① 제방을 월류하는 위험, 그리고 인간 생활에 부수적인 위험.
- ② 제방이 포화되고 동결융해로 인해 도로가 파괴됨으로써 생기는 도로의 잠재적인 위험.
- ③ 교통 장애.
- ④ 인접 유역이나 상류유역 피해, 수로나 범람평원의 주위환경의 피해.
- ⑤ 과도한 유출구 속도, 세굴, 그리고 침식.
- ⑥ 소류사(bed load)의 해로운 침전물, 그리고(또는) 흐름 상태에서 존재하는 약간의 담수.

3) 흐름 조건과 정의

암거 흐름의 주요한 두가지 형태는 유입구 제어와 유출구 제어이다.

- ① 유입구 제어 : 유입구 제어에서는 ㉠ 관의 단면적, ㉡ 유입구의 형태나 외형, 그리고, ㉢ 물의 총 수두나 담수 양이 기본적으로 가장 중요하다.
- ② 유출구 제어 : 유출구 제어에서 ㉣ 수로 유출구에서 유출되는 물, ㉤ 관의 경사, ㉥ 관의 조도, 그리고 ㉦ 관의 길이와 같이 부가적인 고려사항이 있다.

유입구 제어란 유출되는 유량을 유입구 가장자리의 형태와 단면적, 상류 수심에 의해 유입구에서 통제하는 것을 의미한다. 유입구 제어에서는 조도, 관의 길이와 유출구의 조건은 용량을 결정하는 요소가 아니다.

아래 그림은 유입부가 물에 잠기지 않았거나 수중에 있는 것을 묘사한 그림으로 암거의 유입부가 물에 잠기지 않은 A형태가 수중에 잠겨져 있는 B형태보다 수리학적으 양호할 뿐 아니라 구조물도 안정적이 된다.

아래 그림의 A형태와 B형태에서 보여주는 상류수심, HW는 암거의 유입구에서 상류 수원의 에너지선까지의 연직 거리이다.

따라서 도로횡단 파형강판 수로구조물 수리계산용 프로그램을 개발하는 데 있어 암거 상류수심은 파형

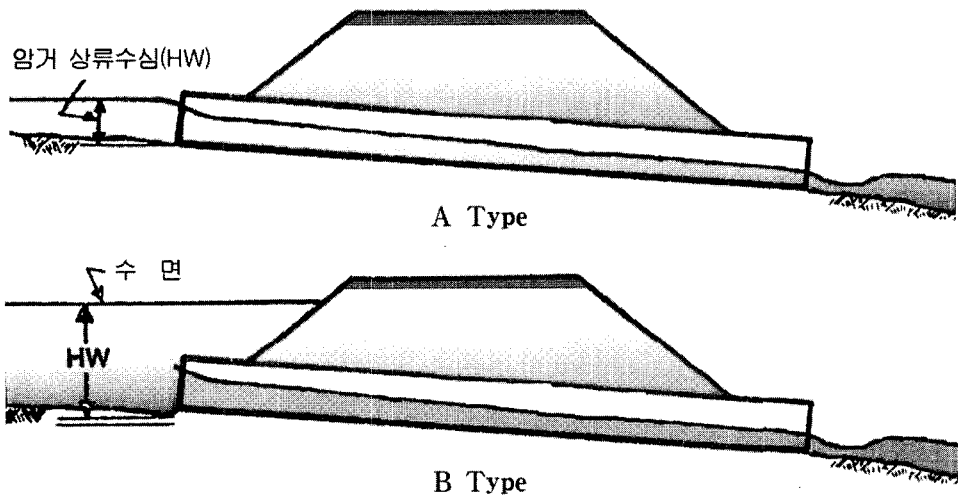
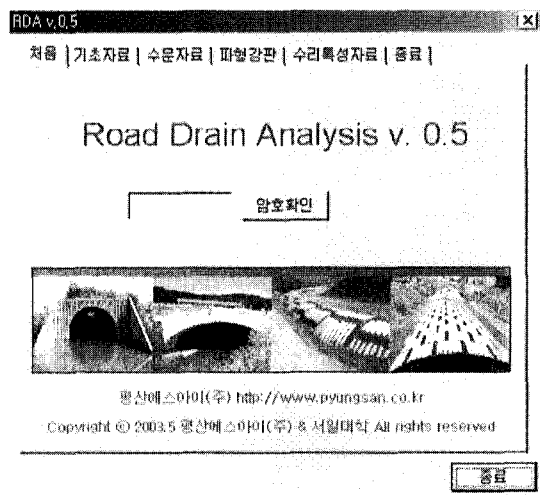


그림 4. 전형적인 암거형태

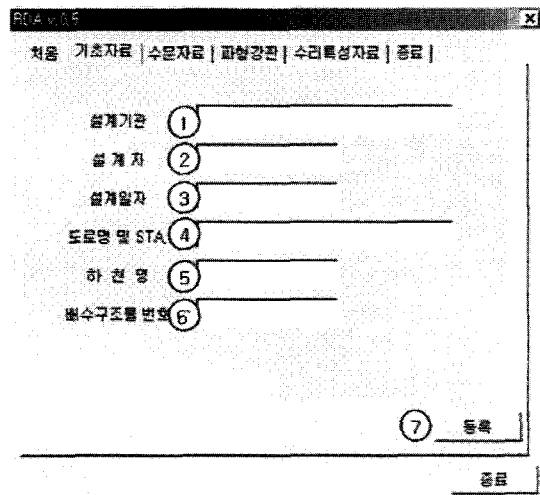
강판의 RISE(H) = 80%를 사용하여 암거가 물에 잠기지 않도록 설계하였다.

4. 프로그램 설명

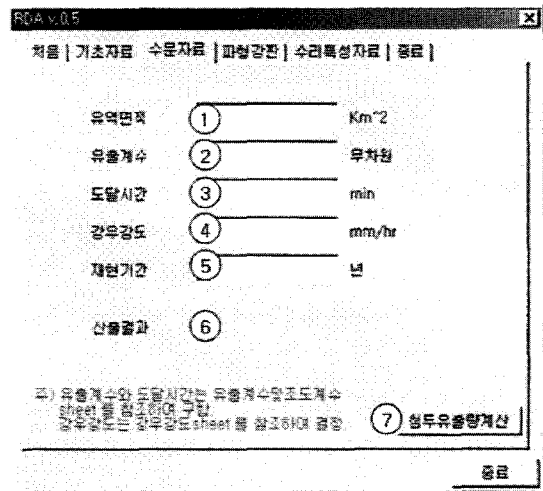
프로그램은 엑셀과 VBA를 연동하여 이루어졌으며, 사용자가 유출계수와 강우강도를 채택할 수 있도록 별도의 sheet로 만들어져 있다.



사용자가 암호를 입력하고 나면 기초자료와 수문 자료를 입력할 수 있다.

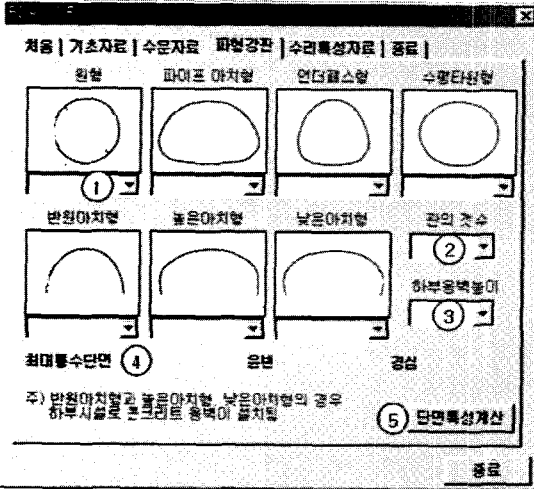


1. 설계기관 : 설계기관명을 입력합니다.
2. 설계자 : 설계자 성명을 기입합니다.
3. 설계일자 : 설계일자를 입력합니다.
4. 도로명 및 STA. : 설계 도로명과 배수시설물 축점을 기입합니다
5. 하천명 : 배수시설물이 설치된 하천명을 기입합니다.
6. 배수구조물 번호 : 배수시설물의 순번을 기입합니다.
7. 등록 : 모든 자료를 입력한 후 등록버튼을 선택하면 수리계산표 워크시트에 자동으로 기입됩니다.

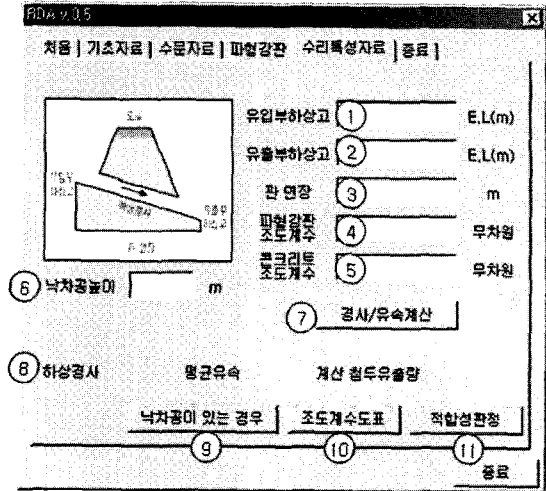


1. 유역면적 : 배수 유역면적을 입력합니다.
2. 유출계수 : [유출계수및조도계수] 워크시트에서 얻어진 유출계수를 입력합니다.
3. 도달시간 : [유출계수및조도계수] 워크시트에서 얻어진 도달시간을 입력합니다.
4. 강우강도 : [강우강도] 워크시트에서 얻어진 강우강도를 입력합니다.
5. 재현기간 : 배수시설물의 재현기간을 입력합니다.
6. 산출결과 : 합리식에 의한 유출량이 자동으로 입력됩니다.

7. 침투유출량 계산 : 클릭하면 수문자료를 이용해 합리식에 의한 유출량을 계산한 후 산출결과에 나타내며 수문자료들을 수리계산표 워크시트에 삽입합니다.



1. 콤보버튼 : 7가지 파형강관 중 적절한 형태를 선택하여 강관의 크기를 결정합니다.
2. 관의 갯수 : 횡방향 관의 개수를 입력합니다.
3. 하부옹벽높이 : 반원아치형, 높은 아치형, 낮은 아치형의 경우 하부시설로 콘크리트 용벽이 설치되므로 하부옹벽높이를 입력합니다. 다른 4가지 형태는 하부옹벽높이를 입력하여도 단면특성이 변화하지 않습니다.
4. 최대통수단면, 윤변, 경심 : 단면특성계산 버튼을 클릭하면 자동으로 계산됩니다.
5. 단면특성계산 : 단면특성계산 버튼을 누르면 선택된 형태의 강관에 대해서 자동으로 단면의 특성들을 계산합니다.



1. 유입부하상고 : 유입부하상고를 입력합니다.
2. 유출부하상고 : 유출부하상고를 입력합니다.
3. 관연장 : 관의 길이를 입력합니다.
4. 파형강관조도계수 : 파형강관의 조도계수를 입력합니다.
5. 콘크리트조도계수 : 콘크리트의 조도계수를 입력합니다.
6. 낙차공 높이 : 낙차공이 있는 경우 낙차공 높이를 입력합니다.
7. 경사/유속계산 : 경사/유속계산 버튼을 누르면 하상경사, 평균유속, 계산 침투유출량이 산정됩니다.
8. 하상경사/평균유속/계산 침투유출량 : 자동으로 계산되는 부분입니다.
9. 낙차공이 있는 경우 : 낙차공이 있는 경우의 예를 보여줍니다.
10. 조도계수 : 조도계수 도표를 보여줍니다.
11. 적합성 판정 : 계산된 침투유출량과 합리식에 의한 침투유출량을 비교하여 적합성 여부를 판정해 줍니다.

RDA프로그램에 의해 만들어진 결과물은 수리계산표 워크시트에 자동으로 삽입됩니다. 아래와 같은

방법으로 결과물을 이용할 수 있습니다.

1. 출력서식만들기 : RDA결과물에 출력서식을 만듭니다.
2. 출력 : 만들어진 수리계산표를 출력합니다.
3. 저장 : 저장버튼을 누르면 새로운 수리계산표 워크시트가 생성됩니다. 적절한 이름으로 바꾸어 놓으면 저장됩니다.
4. 자료삭제 : 새로운 수리계산표를 만들고자 한다

면 자료삭제 버튼을 눌러 자료를 삭제한 후 다시 RDA프로그램을 수행합니다.

이 프로그램을 이용하여 실제 배수로 설계를 수행한 결과 하상경사가 완만한 경우에는 비교적 적절한 결과 값을 얻었으나 경사가 0.05이상인 경우에는 과다한 값이 산정되는 것으로 나타나 추후 부정류에 의한 수면형계산이 필요하리라 판단된다.

| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---|------------------------|---------------|-----------|--|-------------------------|-------|-------|---|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 출력서식만들기 출력 저장 자료삭제 </div> <p>사용자가 원하는 경우 출력서식을 만들어 출력할 수 있습니다.</p> | | | | | | | | |
| 파형강판에 의한 배수로구조물 수리계산표 | | | | | | | | |
| 4 | 설계기관 | 평산에스아이(주) | | | | | | |
| 5 | 설계자 | 홍길동 | | | | | | |
| 6 | 설계일자 | 2003-05-01 | | | | | | |
| 7 | 도로명 및 STA | 경부고속도로 STA. 1 | | | | | | |
| 8 | 하천명 | 무명천 | | | | | | |
| 9 | 배수로구조물 번호 | No.2 | | | | | | |
| 10 | 재현기간(년) | 30 | | | | | | |
| 11 | 유역면적(km ²) | 1.5 | | | | | | |
| 12 | 유출계수 | 0.7 | | | | | | |
| 13 | 도달시간(분) | 30 | | | | | | |
| 14 | 강우강도(mm/hr) | 60 | | | | | | |
| 15 | 첨두유출량(CMS) | 17501 | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 17 | 월일 단면 | SPAN | 허부용벽높이(m) | 관의 갯수 | 최대통수면적(m ²) | 윤병(m) | 경삼(m) | |
| 18 | 2 | 225 | 허부용벽없음 | 2 | 682 | 9964 | 0684 | |
| 20 | 유입부하상고 | 95.2 | | | | | | |
| 21 | 유출부하상고 | 93.1 | | | | | | |
| 22 | 관 입장 | 45 | | | | | | |
| 23 | 파형강판조도계수 | 0.02 | | | | | | |
| 24 | 콘크리트조도계수 | 0.03 | | | | | | |
| | | | | 유출량비교 합리식유출량/계산첨두유출량비 0.427 | | | | |
| | | | | 비교 | | | | |
| RDA\User-Manual\수리계산표\유출계수및조도계수\강우강도\파형강판자료\ | | | | | | | | |