

### 친환경 에너지 절감을 위한 WMA 포장공법

#### 1. 개요

21세기에 들어서면서 서유럽의 국가들은 화석 에너지의 소비 저감과 대기 유해 가스(특히, 카본 다이옥사이드)의 억제를 위한 다양한 정책들을 모색하고 있다. 이에 따라 산업분야에서 에너지 소비가 높은 업계를 중심으로 에너지 소비 효율화를 위한 생산 공정의 변경 또는 개량이 증가할 것으로 예상된다. 이 중에서 도로 건설분야의 아스팔트 포장 시공에서는 HMA(Hot Mix Asphalt, 가열 아스팔트 혼합물)의 생산과 포설을 위해 역청 재료의 가열을 통해 시공성을 확보하고 있다. 이 과정에서 다량의 화석 에너지를 사용하고 있어, 최근에는 환경에 대한 인식 변화에 따라 HMA 포장의 에너지 소비 절감과 함께 현행 품질기준을 만족하는 아스팔트 포장의 대체 재료의 사용 요구가 증대되고 있다. 현재 서유럽 국가들에서 사



그림1. WMA 포장의 시공 모습

용하고 있는 대부분의 HMA는 장기간에 걸친 개발을 통해 작업성, 내구성, 수명증진 등의 장점을 확보한 실정이다. 이러한 사유로 인해 실무자들이 단기간에 HMA 포장을 대체하여 WMA

(Warm Mix Asphalt, 중온 아스팔트 혼합물) 포장을 선호하지는 않을 것이다. 그러나 장기적으로는 정치적, 환경적, 경제적인 압력으로 인해 이러한 인식들은 변화할 것으로 판단된다. 특히 서유럽은 교토 협약을 통해 2010년까지 현재의 CO<sub>2</sub> 발생량의 15% 감축을 동의한 실정으로 아스팔트 도로 포장에서 WMA 포장 공법의 중요성은 더

욱 증가될 것으로 판단된다.

#### 2. WMA의 이점

WMA 포장은 HMA 포장과 비교하여 동일한 성능의 실용적인 장점을 확보하면서 생산 및 시공 온도는 30℃에서 40℃까지 저감시킬 수 있다. 이미 많은 서유럽 국가들의 관련 업체를 중심으로 R&D 투자를 통해 WMA 관련 제품의 개발과 실용화가 이루어지고 있다.

WMA 포장의 온도 저감이 엄청난 비용 절감 효과보다는 기존 HMA 포장의 시공 온도를 약 25% 정도 낮추는 효과에서 중요한 차이점이 있다. 이는 가열 온도의 저감에 따라 대기 중

## 기술동향

으로 방출되는 카본 다이옥사이드 가스의 방지와 유해증기 가스 억제(온도가 10℃씩 저하하면 배출량 절반 감소) 등의 환경적인 효과이다.

이러한 WMA 포장의 초기 공법으로는 wax를 아스팔트 혼합물에 첨가한 사례이다. 이 제품은 아스팔트 바인더의 점도를 낮추는 효과가 있어 130℃ 부근에서 아스팔트 혼합물의 생산 및 포설에 만족하는 작업성을 제공할 수 있었다. 다른 공법으로 노르웨이에서 개발된 것으로 초기에는 2종의 다른 아스팔트 바인더를 혼합하였으나, 나중에 폼드 아스팔트 공법을 보강하는데 사용하였다. 폼드 아스팔트 포장은 아스팔트 바인더에 물과 공기를 혼합하여 점도를 낮추어 WMA의 생산과 시공에 사용한 공법이다.

### 3. WMA의 종류

현재 서유럽에서는 아래와 같이 3가지의 제품이 WMA 포장 재료로 가장 폭넓게 사용되고 있으며, 모두 특허권을 확보한 상태이다.

• Aspha-Min<sup>®</sup> : 제올라이트(zeolite, 비석)의 합성 물질로서, Eurovia 사에서 생산되어 유럽을 중심으로 사용되고 있다. 이 재료는 건식 방식으로 아스팔트 플랜트에서 아스팔트 혼합물의 생산 과정 중에 혼합물 중량의 약 0.3%를 투입한다. Aspha-Min은 제올라이트 합성 물질에 18%의 물로 수화작용을 거친 후 분말형으로 생산된 제품으로서, WMA 생산 과정에서 포밍작용(Foaming, 거품 발생을 통해 골재와 아스팔트의 접착력 증진)이 일어난다. 이를 통해 아스팔트의 점도가 저감되고 낮은 온도에서 생산과 시공에 필요한 작업성을 얻을 수 있다. 일반적으로 Aspha-Min을 사용한 WMA의 생산 온도는 HMA보다 약 30℃ 정도 낮은 130℃~145℃ 범위이다.

• WAM-Foam<sup>®</sup>(Warm Asphalt Mix Foam) : 2가지의 바인더 합성 물질로서, Shell Ltd(영국)와 Kolo-Veidekke 사의 공동 투자로 개발되었다. 이 재료는 아스팔트 플랜트의 생산 과정에서 투입되며 2단계의 공정을 거친다.



그림2. WMA의 첨가제 투입 장치

1단계는 소프트 바인더를 100℃~120℃ 범위에서 골재와 혼합한다. 2단계는 1단계를 통해 코팅된 골재에 하드 바인더를 투입한 후 폼드작용(물과 공기 주입)으로 마무리한다. 이러한 1,2단계의 생산 공정을 통해 아스팔트의 점도를 저감시킬 수 있고 낮은 온도에서 생산과 시공에 필요한 작업성을 확보하였다. 특히 본 공법의 포설작업은 HMA 포장보다 약 40℃~50℃ 낮은 온도에서 이루어진다.

• Sasobit<sup>®</sup>, Asphalten B<sup>®</sup> : 낮은 용해점을 가진 첨가제로서, 2종의 제품이 사용되고 있다. 이 중에서 파라핀 왁스(paraffin wax)를 주성분으로 한 Sasobit<sup>®</sup>은 Saso Wax사(남아프리카)에서 생산되며, 저분자 에스테르(low

molecular weight ester)를 주성분한 Asphaltan B<sup>®</sup>은 Romonta GmbH사(독일)에서 생산된다. 이 두 제품은 용해점이 거의 99℃로서 아스팔트에 첨가하면 점도가 낮아지는 특성을 나타낸다. 일반적으로 아스팔트 중량의 약 3~4%를 투입하며, 조기 교통 개방이 필요한 도로에 주로 적용하고 있다.

#### 4. WMA의 미래

최근의 세계적인 이슈의 하나인 온실가스의 저감과 환경보호는 WMA 포장의 미래에 중요한 영향을 미치는 요소라 할 수 있다. 특히 WMA 포장은 생산과 시공 과정에서 기존 HMA 포장에 비해 탁월한 CO<sub>2</sub> 발생량의 저감과 유해 가스의 억제라는 환경적인 이득뿐만 아니라 경제적인 이득을 극대화할 수 있는 건설 공법의 하나로 자리매김할 것으로 사료된다. 우리나라의 경우 이미 교토 협약에 가입한 상태에서 CO<sub>2</sub> 발생량의 억제 대책이 시급한 상황이고, 부존 에너지 자원의 절약이 필요한 현실에서 이러한 도로 포

장 공법의 도입과 개발 노력이 절실하다고 사료된다.☞

- 자료 : WORLD HIGHWAY July/August 2005, <http://www.worldhighway.com>  
<http://www.betterroads/articles/jun04e.htm>
- 자료 제공 : 황성도(도로연구부 선임연구원)
- [sdhwang@kict.re.kr](mailto:sdhwang@kict.re.kr)

### 일본의 배수통문 공동탐사기법 연구사례

#### 1. 개요

배수통문 주변의 침투수에 의한 붕괴 피해가 증가하고 있으므로 배수통문의 안정성을 효과적으로 평가하는 방법의 개발이 매우 중요한 실정이다. 지구물리탐사는 지하 매질의 물리적 성질의 차이에 기인하여 발생하는 다양한 물리현상들을 계측하고 그 자료를 해석하여 지하 매질의 구조 및 성질을 알아내는 배수통문탐사기법으로, 배수통문 배면의 공동 위치나 크기, 제체의 기본구조 등에 대한 정보를 제공할 수 있다.

따라서 일본의 하천제방 배수통문 관련 연구는 토목연구소(PWRI)와 국토기술연구센터(JICE)를 중심으로 기존 구조물

의 변형상태를 조사하기 위한 탐사기법을 통해 다양한 연구가 수행되었다. 일본의 배수통문 관련 연구동향을 배수통문 공동탐사기법 연구사례를 조사하였다.

#### 2. 지중레이더를 이용한 공동탐사 기법

森芳徳 등(1998)은 '지중레이더를 이용한 지중구조물 주변 지반의 공동조사의 적용성' 연구를 통하여 주변 지반과의 부등침하 등의 원인에 의해 하천제방 배수통문/통관, 하수도 관로 시설인 흡관 등의 지중 구조물의 주변에서 발생하는 공동이나 물길의 조사를 위한 지중레이더 탐사법의 적용성 평가를 모형실험을 통해 수행하였다.

森芳徳 등(1998)은 전자파에 의한 지중 레이더를 적용한 배수통문 등의 기초 지반 하부의 모의 공동 탐사를 위하여, 길이 2,000mm, 내경 1,100mm, 저판 두께 150mm의 모형암거를 철근 간격 100mm와 150mm로 제작하고, 최대 깊이 500mm인 삼

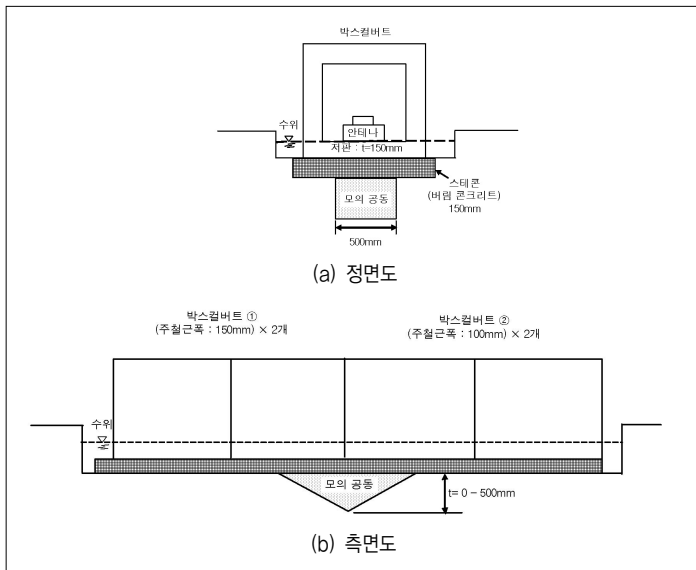


그림1. 모형실험 개요도

각형 기둥형태의 모의 공동을 저판하부에 형성하여 실험을 수행하였다(그림1 참조). 이때, 탐사에 적용된 지중레이더의 주파수는 500MHz와 1GHz의 주파수를 적용하여 수행하였다.

실험 결과는 다음의 표1에서 보듯이 상대적으로 고주파인 1GHz의 경우 비교적 양호한 탐사결과를 보이고, 500MHz의 경우 철근 간격 100mm에서 탐사가 불가능한 것으로 평가되었다.

### 3. 탄성파 탐사를 이용한 탐사기법

茂木正晴 등(2001, 2002, 2003)은 '탄성파를 이용한 제방 내부

상황 탐사기술의 개발' 연구에서 제방 내부 탐사로서 분해능이 우수한 S파를 이용한 천층 반사법을 사용하고, 배수통문 하부 탐사로서 고주파인 P파를 이용하는 천층 반사법을 적용하여 현장 시험을 수행하여 다음과 같은 결과를 보고하였다.

1차 현장 시험 결과로부터 2차원 S파천층 반사법은 제방 내부 상황의 개략적인 파악에 유효하고, 3차원 S파 천층 반사법은 공동과 같이 밀도 이상체의 검출에 대해 유효한 탐사 방법으로 보고하였으며, 2차 및 3차 연구를 통하여 분해능이 우수한 S파를 이용한 간이 3차원 탐사는 배수통문이나 제방의 축제 이력의 파악 및 성토층 내의 밀도 이상체의 탐사에 유효

표1. 지중레이더의 공동탐사 적용 결과

중심주파수	RC 구조물	박스컬버트		흙관	
		배근간격(터블)		배근간격(싱글)	
		150mm (두께 300mm 정도)	100mm (두께 300mm 정도)	65mm (두께 50mm 정도)	35mm (두께 50mm 정도)
500MHz		○	×	○	×
1GHz		◎	○	◎	×

\* ◎: 추정가능, ○: 조건부 가능, ×: 불가능

## 기술동향

하고, 고주파인 P파를 이용한 반사법탐사는 배수통문 저판 콘크리트 배면의 공동 등의 간접적인 파악이 가능한 것으로 보고하였다.

### 4. 연통시험을 이용한 탐사기법

中山修 등(1999)은 '통문 주변 제방의 누수위험도조사를 위한 연통시험법의 적용 예'에서 제방의 잠재적인 누수위험개소로서 주목받고 있는 배수통문의 누수 및 붕괴 원인을 분석하고 현장에서의 누수 위험도 검토를 위하여 연통시험법의 현장 적용 평가를 수행하였다.

中山修 등(1999)에 따르면, 배수통문은 제방을 암거형식으로 횡단하는 구조물로서 말뚝지지의 기초형식을 채용하고 있는 사례가 많으며, 말뚝기초를 사용하는 배수통문의 경우 주변 지반 침하에 의한 상대적 변형에 따라 저판 아래에 공동이 발생하여, 수차레의 홍수를 거쳐 공동이 발달함에 따라 누수 및 붕괴에 이르게 되는 것으로 보고하였다.

또한, 본 논문은 홍수 시 누수

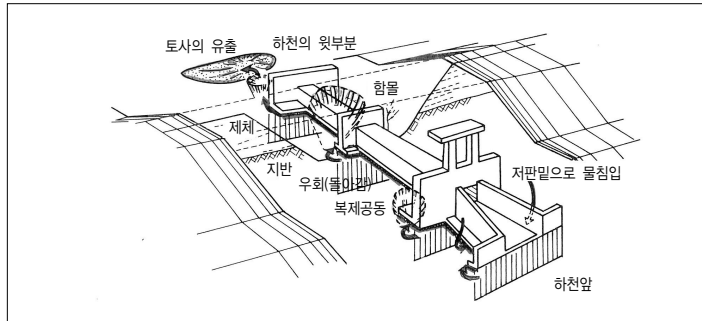


그림2. 통문 주변의 변상(변화)과 누수 경로의 개념도

경로의 경우 다양한 경로가 있는데, “통문 저면을 따라 형성된 물의 흐름 차단을 위해 설치된 차수벽조차도 측면을 따라 누수경로가 존재한다”고 보고하였다(그림2 참조).

한편, 연통시험은 통문을 따라 발생한 공동의 유무 혹은 연속성을 물의 흐름이나 수압의 전달을 통하여 확인하는 실험으로, 하천제방 배수통문의 누수위험도를 평가하는 것이다.

그림3에서는 中山修 등(1999)이 연통시험의 현장 적용성 평가를 위해 수행한 대상 배수통문의 기초구조 및 관측공 배치도를 보여준다. 말뚝기초는 길이 42m의 강관말뚝으로, N치 50이상의 모래층에 지지되어 있다. 연통시험용 관측공은 차수벽을 사이에 두고 5개소에 설치하였다.

외관 관찰에 의하면, 본 통문은 부등침하로 인한 통문 주변

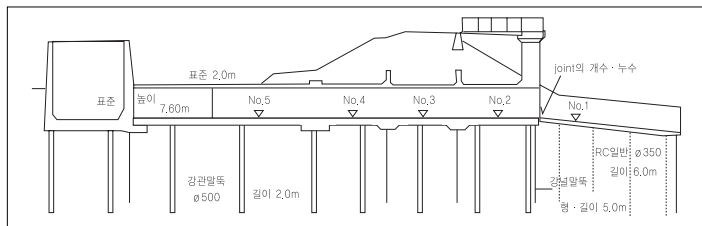


그림3. 연통 관측공 배치도

## 기술동향

지반의 상대적인 변형이 현저하게 발생하였으며, 통문 본체와 하천이 맞닿는 접합부에서 18cm의 단차를 보여 저판 밑에 공동이 발생하고 있을 것이라 추정되었다.

연통시험 결과는 천공 및 저면 관측공(No.1~No.5)의 분석에 의하여 과거 보강한 평균 17cm 정도의 그라우트 충전층 및 No.1을 제외한 모든 실험공에서 저면 하부에 최대 3.5cm의 공동이 확인되었다.

그림4에서는 No.2공(주수공)에 주수할 경우 개별 관측공의 수위 변화를 보여준다. 개별 관측공 수위는 그림4에서 보듯이 그 크기가 작지만, 거의 지체시간 없이 반응하고 있으며, 관측

공 No.3, 4, 5는 거의 같은 수위 변화를 보이고 있다.

또한, 그림5에서는 주수공을 변화시켜가며 실시한 연통시험의 피크 수위시 관측공 수위-주수공 수위 변화 관계 곡선을 보여준다. 이때 응답비는 관측공 수위상승량(Hm)/주수공 수위상승량(Hi)의 비로써, 45° 선상의 경우 완전 연통 상태로, 폐쇄 공동이거나 주수공과 관측공이 매우 가까운 거리임을 나타내며, 0° 선상(관측공 수위 상승량 0)의 경우 연통되지 않은 경우로써 좌표 가로축과 일치한다. 본 시험의 응답비는 그림5에서 보듯이 No.3, 4, 5의 경우 거의 1이며, No.2, 3의 경우 그보다는 작게 나타나는 것으로 평가되었다.

그림6은 지체시간(time leg)-응답비의 관계를 보여주며, 관측공 No.2, 3, 4, 5는 거의 시간차 없이 연동하고 있다는 사실을 알 수 있다. 또한, 관측공 No.2는 주수시 통문 본체와 접합부 사이로 누수가 발생하고 있었다. 시험결과로부터, No.3과 No.4 사이의 차수벽은 차수기능을 다하지 못하고, No.1과 No.2 및 No.2와 No.3 사이의 차수벽은 차수 기능이 저하되고 있는 것이라고 판단되었다. 본 배수통문은 저면 밑 공동과 차수벽 측면을 통한 유로가 연속되어 있으므로, 조속한 누수 대책이 필요하다고 판단된다.

中山修 등(1999)은 연통시험이 배수통문 하부 공동 유무 및

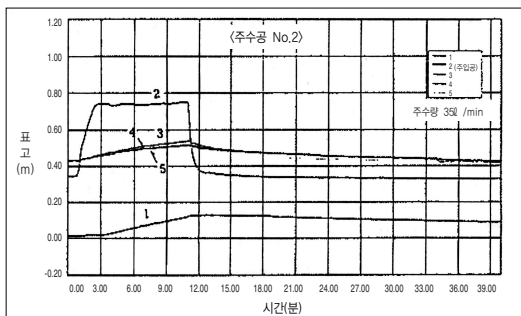


그림4. 개별 관측공의 수위-시간 관계 곡선

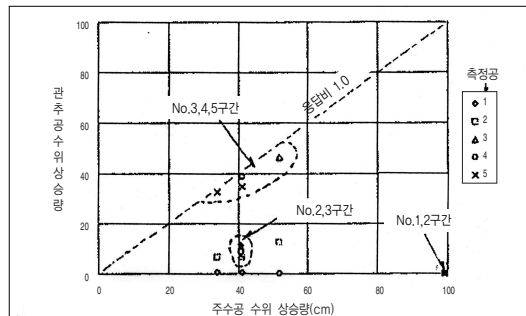


그림5. 피크 수위시 관측공 수위-주수공 수위 변화 관계 곡선

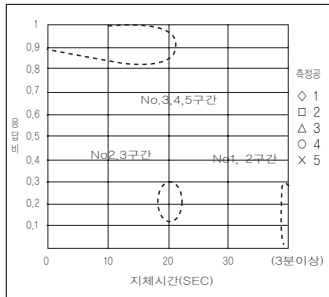


그림6. 피크 수위시 지체시간 - 응답비 관계곡선

유로의 연속성 등의 확인에 유효한 방법이며, 향후 측정 및 해석수법, 평가수법의 확립과 모니터링에의 이용방법의 개발을 통하여 통문 주변 제방의 누수 위험도 조사법으로서 표준적인 방법이 될 수 있을 것이라 평가하였다.

## 5. 맺음말

본고에서는 일본의 배수통문 관련 연구동향을 배수통문 공동탐사기법 연구사례를 중심으로 조사하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

- 상대적으로 고주파인 1GHz의 경우 비교적 양호한 탐사결과를 보이고, 500MHz의 경우 철근 간격 100mm에서 탐사가 불

가능한 것으로 평가되었다.

- 3차원 탐사는 배수통문이나 제방의 축제 이력의 파악 및 성토층 내의 밀도 이상체의 탐사에 유효하고, 고주파인 P파를 이용한 반사법탐사는 배수통문 저판 콘크리트 배면의 공동 등의 간접적인 파악이 가능한 것으로 판단된다.

- 향후 측정 및 해석수법, 평가수법의 확립과 모니터링에의 이용방법의 개발을 통하여 통문 주변 제방의 누수 위험도 조사법으로서 표준적인 방법이 될 수 있을 것이라 평가하였다.

따라서 일본의 배수통문 탐사기법에서는 특히 제체구조 파악에 널리 사용되고 있는 탐사기법에 따라 제체의 기본구조 및 배수통문의 안정성을 효과적으로 사용할 수 있다.

- 자료 : 1. 茂木正晴 등(2001), '탄성파를 이용한 제방 내부 상황 탐사기술의 개발', 제56회 토목학회 년차 학술강연회
- 2. 茂木正晴 등(2002), '탄성파를 이용한 제방 내부 상황 탐사기술의 개발 2', 제57회 토목학회 년차 학술강연회
- 3. 茂木正晴 등(2003), '탄성파를 이용한 제방 내부 상황 탐사기술의 개발 3', 제58회 토목학회 년차 학술강연회
- 4. 森芳徳 등(1998), '지중레이더를 이용한 지중구조물 주변지반의 공동조사의 적용성', 제53회 토목학회 년차

학술강연회

5. 中山修 등(1999), '통문주변제방의 누수위험도조사를 위한 연동시험법의 적용 예', 제34회 지반공학회 연구발표회, pp. 167-168

- 자료 제공 : 오세용(지반연구부 연구원)
- syoh@kict.re.kr

## 선진화된 돌발홍수예보시스템의 개발

### 1.개요

최근 지구온난화, 엘니뇨 및 라니냐 등의 지구환경변화에 따른 기후변화의 영향으로 지구상의 여러 지역에서 집중호우로 인한 많은 인명과 재산피해를 입고 있다. '93, '95, '99년의 유럽대홍수와 '93년의 미국 미시시피강 유역 대홍수, '98년 중국 양쯔강 유역에 대홍수가 발생하였고, 올해 8월말 미국 걸프 만을 강습하여 미국 남부에 사상 최악의 자연재해로 기록된 허리케인 카트리나도 최근의 전 세계적인 이상기후와 무관하다 할 수 없다. 우리나라에서도 '90년에 남한강 유역의 대홍수와 '96, '98년 경기북부 지역에 대홍수가 발생하였다. 특히, 1990년대 후반부터 강수

## 기술동향

의 특징이 극대화되면서 과거와는 다른 국지적 집중호우 현상에 의한 돌발홍수가 빈번히 발생하고 있으며, 도시화 및 산업화로 동일 강우임에도 피해는 급격히 대형화 되는 추세이다. 이러한 경향은 세계적인 것으로서 단시간 동안에 특정지역에 집중하는 국지적 호우로 인한 돌발홍수에 대한 대책이 시급한 실정이다.

최근에 안성천, 형산강, 태화강 유역에서 중소유역 하천예보 시스템과 중량천, 탄천, 안양천 및 금호강과 같은 지천홍수예보 시스템 등을 개발하고 있다. 이들 중소하천 및 지천 홍수예보 시스템에서도 한강 및 낙동강과 같은 대하천에서 적용

된 동일한 강우예측 및 저류 함수 모형이 적용되었으나, 이들 지역은 홍수도달시간이 짧고 예보 준비기간이 충분하지 못한 소유역으로서 현재의 시스템을 가지고는 홍수예보의 운영이 곤란할 수 있다. 따라서 이러한 홍수예보의 문제점과 최근의 사회적, 환경적 여건으로 인한 구조적인 대책의 한계성 때문에 다른 비구조적인 대책의 일환인 돌발홍수예보시스템(Flash Flood Forecasting System)의 구축이 어느 때보다 중요하게 되었다.

국내에서는 현재 전국 5대강 및 지천에서 홍수예보 시스템은 운영 중에 있으나, 돌발홍수예보 모형을 이용한 돌발홍수

예보시스템은 운영되고 있지 않은 실정이다. 따라서, 본고에서는 현재 운영 중인 미국의 돌발홍수예보시스템에 대하여 살펴보았다.

### 2. 미국의 돌발홍수예보 시스템

미국에서는 지역 및 산악, 그리고 도서 지역의 강한 호우로 인한 돌발홍수의 방어를 위하여 1969년 국립기상청 재해조사팀의 보고를 바탕으로 국립기상청에서 돌발홍수감시 및 경보체제를 최초로 구축하였다. 이러한 돌발홍수시스템은 ①13개 하천예보국(River Forecast Centers, RFC)의 하천수위예보 프로그램이 미치지 못하는 지역 및 유역에 우선 예보 업무

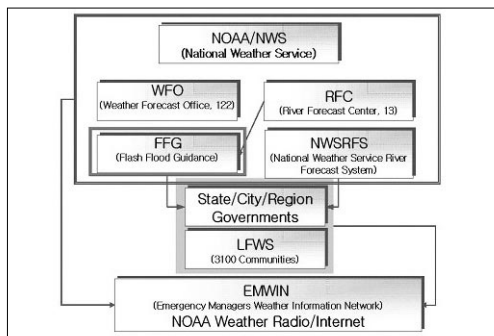


그림1. 미국의 홍수관리체계도

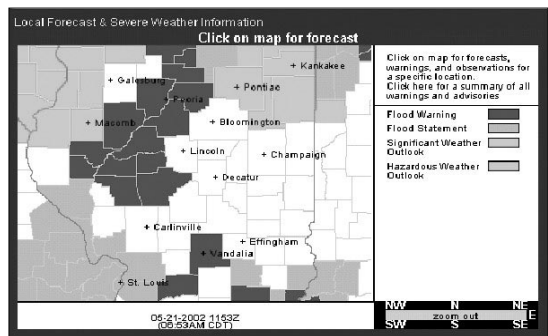


그림2. NWS/WFO의 돌발홍수 예보 상황도

## 기술동향

를 제공, ② 용설로 인한 단기간 홍수문제가 있는 지역에 예보를 제공, ③ 하천홍수예보 시스템이 있는 곳이라도 강우에 특히 민감한 지역에 예보를 제공함을 목적으로 한다. 유역범위는 대체로 200 km<sup>2</sup>~2,500 km<sup>2</sup>에 이르고 있으며 돌발홍수 시스템은 그림1과 같이 미국의 홍수 관리 체계에서 상호의존적인 협조체제를 구축하고 있다.

돌발홍수가가능사태를 전하는 지역자체 운영예보 계획은, 중소 규모의 수문자료를 관측하고 지류수위를 예보하는 능력을 갖춘 행정조직체의 형태를 띠고 있으며, 이는 정상적인 시스템하에서 하천수위경보를 하기에 매우 촉박한 지역의 홍수예보 업무를 수행하기 위해 설계되었다. 이는 지역 홍수예보와도 연계되어 짧은 시간의 홍수 피해 경감을 위하여 효율적으로 이용되고 있다. 돌발홍수예보는 그림2와 같이 NWS의 웹상에서 다양한 경보 및 주의보와 함께 동시에 제공되고 있으며, NWS에서 발령되고있는 실시간 홍수관련 정보는 돌발홍수경보, 홍수경보, 돌발홍수예보, 강

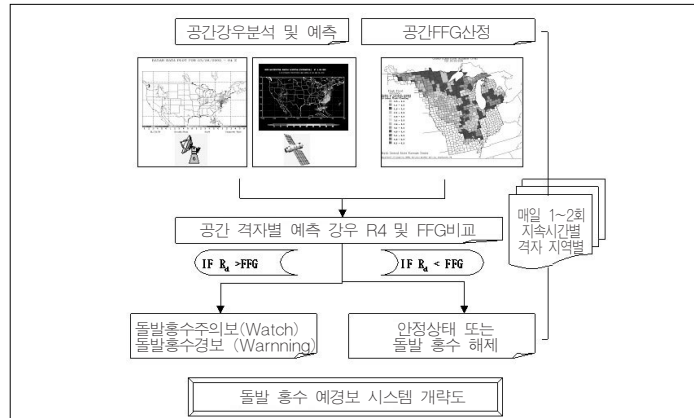


그림3. 돌발홍수예보 시스템 개념 및 절차도

풍주의보, 홍수주의보 등이다.

이러한 돌발홍수예보 시스템은 1990년대에 들어서 GIS, 원격 관측망 및 웹 시스템의 발달에 의하여 통합적인 형태가 제공되었으며, 돌발홍수기준(Flash Flood Guidance, FFG)의 연구에 기인한다. 돌발홍수기준도(Flash Flood Guidance Map)란 대상 소 유역에서 돌발홍수를 유발시킬 수 있는 특정 지속시간 간격에 해당하는 유역 평균 강우량(Average Basin Rainfall, ABR)으로 정의할 수 있다(Sweedney, 1992). 일반적으로 예측 강우 지속시간 1, 3, 6, 12, 24 시간 간격에 대하여 각 소 유

역 별로 1일 1~2회 정도(오전, 저녁) 갱신하여 구축할 수 있다. 최근에는 GIS기법 및 공간강우 예측기법의 발달로 인하여 격자단위의 FFG가 작성되어 사용될 수 있어 국지 지역의 집중호우로 인한 신속한 돌발홍수예보를 할 수 있다. 이러한 FFG는 산악 자연 지역을 위한 자연지역 FFG와 도시 경사 지역을 위한 도시지역 FFG로 구분하여 작성할 수 있다.

일반적으로 미국에서의 돌발홍수기준도(FFG)를 이용한 돌발홍수예보 시스템은 그림3과 같은 절차에 의하여 운영된다. 우선적으로 대상지역에서는 FFG

## 기술동향

값이 산정되며, 이는 지상 관측망, 레이더, 위성 등에 의해 산정된 대상지역의 강우량과 비교하게 된다. 이때 관측 및 예측 강우량이 FFG값 보다 큰 경우에 돌발홍수 예보 및 경보가 발령되고 이 정보는 다양한 매체에 의해 국민들에게 전달되어 진다.

미국에서는 지역 단위의 효과적인 홍수예보를 위하여 통합홍수관측 및 경보시스템(Integrated Flood Observing and Warning System, IFLOWS)이 1978년에 국가적 돌발홍수개선계획(National Flash Flood Program Development Plan)의 일종으로 제안되었다. 또한, 지역 단위의 홍수예보를 위한 대표적인 시스템은 ALERT(Auto-mated Local Evaluation in Real Time)으로, 이는 홍수환경 관련 자료를 실시간으로 중앙 전산망에 공급하기 위한 원격장치로 사용되고 있다.

### 3. 맺음말

현재 우리나라는 홍수로 인한 피해를 경감시키기 위해서

댐 및 제방건설 등의 구조적 대책과 홍수예보 시스템 구축과 같은 비구조적인 대책을 병행하여 추진하고 있다. 그러나, 현장에서 사용되고 있는 강우-유출 모형에 의한 홍수예보 시스템은 강우의 실측치를 모형의 입력자료로 요구하기 때문에 홍수도달시간이 짧은 소유역의 돌발홍수를 예보하는데 있어서는 실효성을 거두지 못하고 있다. 따라서 이러한 홍수예보의 문제점과 최근의 사회적, 환경적 여건으로 인한 구조적인 대책의 한계성 때문에 다른 비구조적인 대책의 일환인 돌발홍수예보시스템의 구축이 어느 때보다 중요하게 되었다. 또한, 기존의 대유역 수위, 우량관측소 위주의 홍수방재 시스템으로는 국지적 돌발홍수를 사전에 인지할 방법이 제한되어 있으므로, 정부에서는 시공간적인 강우현상을 파악하기 위하여 첨단 강우레이더 도입을 추진 중에 있다. 그러므로 본고에서 언급한 미국의 선진화된 돌발홍수예보 시스템을 벤치마킹함으로써, 이를 토대로, 우리나라

의 실정에 적합한 한국형 돌발홍수예보 시스템을 개발한다면, 국가방재업무의 효율성을 높일 수 있을 것이다.☞

- 자료 : 1. Paul L.Smith, (2005). 'Flash Flood Forecasting over complex terrain', The National Academic Press
- 2. U. S. National Weather Service, (1972). 'National Weather Service. River Forecast System, Forecast Procedures', National Oceanographic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NWS HTDRO, vol. 14
- 3. Seann Reed, John Schaake, Victor Koren, Dongjun Seo, and Michael Smith (2004) 'A Statistical-Distributed Modeling Approach for Flash Flood Prediction', Hydrology Laboratory, Office of Hydrologic Development, National Weather Service report, NOAA
- 4. <http://www.alertssystem.org>
- 자료 제공 : 김병식(수자원연구부 선임연구원)
- hydrokbs@kict.re.kr

## 막분리 정수처리 기술동향

### 1. 개요

도시화 및 산업화에 따라 상수원으로 유입되는 유해물질들은 급속하게 증가하고 있으며 그 종류도 다양화되고 있기 때문에 안전하고 맛있는 물을 생산하기 위한 정수처리기술에

## 기술동향

대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 막분리 정수처리시스템은 1990년대에 선진국을 중심으로 많은 개발과 연구가 집중되었으며, 이미 전세계의 많은 정수장에 소규모 시설부터 도입되고 있는 실정이다. 막분리 공정이 정수처리에 적용되었을 때의 주요 장점들은 ①원수 및 전처리 운전조건에 영향을 받지 않는 안정적인 수질 확보가 가능하고, ②기존 처리 시스템으로는 제거가 어려운 염소내성의 원생생물 등에 대한 제거율이 우수하며, ③탁도 및 입자성 오염물을 완전하게 제거함으로써, 양호한 처리수를 얻을 수 있으며, ④운전인력의 숙련도와 경험에 크게 의존하지 않는 자동운전이 용이하고, ⑤컴팩트한 시설 설비가 가능하여 부지면적이 적게 들며, ⑥기존공정에 근접하는 수준의 경제성을 확보하고 있는 점 등이다. 또한 막분리에 의한 100%에 가까운 미생물 제거는 염소 소독제 투입량을 현저히 감소시킴으로써, 소독부산물 생성을 최소화하고, 배수관망에서의 염소농

도 역시 최소화할 수 있는 최상의 정수시스템으로 부각되고 있다. 여기서는 막분리 정수처리 공정의 동향 및 도입현황 등에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 국외 막분리 정수처리 도입현황

미국, 프랑스, 일본을 비롯하여 선진국에서는 이미 오래 전부터 막분리 공정에 대하여 활발하게 연구하였으나, 정수처리에의 도입은 비교적 최근부터 시작되었다. 초기에는 주로 해수담수화를 목적으로 하는 역삼투막이나 이온제거를 목적으로 하는 나노여과막이 정수처리를 위해 사용되었으나, 1990년대 들어서는 정밀여과/한외여과막의 도입이 시작되어 현재는 세계적으로 정밀여과/한외여과를 이용하는 정수장의 규모만 해도 370 만톤/일 이상이다(그림1). 미국의 경우 1993년 이전에는 정밀여과/한외여과를 이용한 막분리 정수처리 플랜트가 없었으나, 1990년대 후반부터 활발히 도입되어 현재에는 미국 내에서의 처리규

모가 전세계의 처리규모의 43% 수준에 이르고 있다. 프랑스는 1988년 최초로 250 톤/일 규모의 한외여과 정수장을 설치하였으며, 2002년 현재 총 80 만톤/일 규모의 정밀 및 한외여과 정수장을 가동 또는 설치 중이며, Veolia사가 운영하는 Mery-Sur-Oise 정수장에는 14 만톤/일 규모의 나노여과 플랜트가 가동되고 있다. 일본은 후생성 주관으로 1991년부터 2004년까지 범국가적 차원에서 'MAC21', '고도처리 MAC 21', 'ACT21', 'e-Water' 등의 막분리 공정에 대한 연구를 집중적으로 실시하였으며, 이를 바탕으로 막분리 정수처리 공정의 현장도입이 가속화되고 있다(그림2).

### 3. 막분리 정수처리 기술 및 시장 특성

세계의 분리막 공정 시장은 캐나다의 Zenon, 프랑스의 Degremont, 미국의 Hydranautics, US Filter, 일본의 Asahi Kasei, Toray 등의 회사들이 각기 독특한 분리막과 공정으로 공략을 하고 있다. 이와같이 여러 회사

## 기술동향

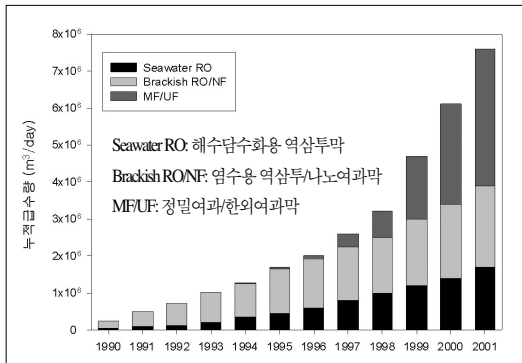


그림1. 세계의 막분리 정수시스템 도입현황 (막의 종류별 누적급수량)

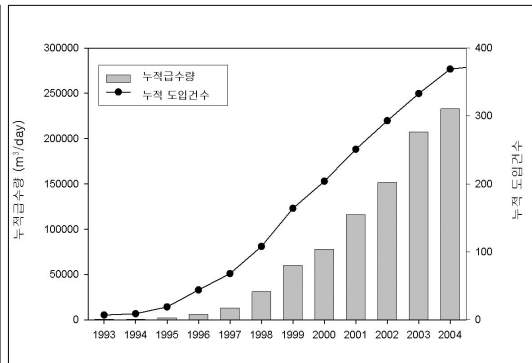


그림2. 일본의 막분리 도입사례 (2004년 6월 기준)

에서 다양한 형태의 막모듈 및 공정이 개발되어 판매되고 있는 이유는 국가별, 지역별, 수원 특성별로 각기 다른 규모 및 형태의 막분리 시스템이 필요하기 때문이다. 예를 들어 미국의 경우에는 현재 막분리 시스템이 중대규모 위주로 도입이 되어 130 여개의 정수장에서 약 160 만톤/일 이상의 음용수를 생산하는데 반하여 일본은 소규모 위주로 막분리 시스템이 개발되어 320 여개의 정수장에서 약 21 만톤/일의 음용수를 생산하고 있다. 또한, 건조지역인 중동지방이나 미국 서부 캘리포니아 지역, 프랑스 일부 지역 등에서는 이온성분의 제거를 목적으로 하는 NF/RO 분리막

이 사용되는데 반하여 미국 내 다른 지역이나 일본, 유럽 등에서는 입자 및 병원성 미생물의 제거를 목적으로 하는 MF/UF 분리막이 주로 사용되고 있다.

막분리 제조기술의 발전과 고유량 및 저압 막모듈의 개발로 막분리 공정의 설치 및 처리비용도 급격하게 감소하고 있다. 1995년 단위부피의 처리수를 생산하기 위한 비용을 1이라고 하였을 때 2000년에 이미 0.15 수준으로 감소하였으며 현재는 0.1 수준에 근접하고 있다.

### 4. 국내상황 및 제언

현재 전세계적으로 막분리공정의 도입이 가속화되고 있음에도 불구하고, 아직까지 국내

에서는 도입사례도 미비하고, 시장도 형성되지 않았으며, 기술수준도 열악한 실정이다.

따라서, 이러한 어려운 현실을 극복하고 기술자립을 이룩하기 위해서는 국내 고유의 막모듈 제조 기술과 공정 설계 및 설치기술, 제어 및 운영·유지관리 기술 등이 확보되어야 하며 이를 위한 지속적인 연구개발이 진행되어야 할 것으로 사료된다.☞

- 자료 : 1. 김형수(2004), "막분리 정수시스템의 최신 동향", 막분리 심포지움.
- 2. Masaki Itoh, Yasumoto Magara(2004), "Membranes in Drinking Water Treatment - Present State and Future -", 막여과 수처리 단기교육.
- 자료 제공 : 이상호(건설환경연구원 선임연구원)
- s-lee@kict.re.kr