

지오백 세굴보호공법의 현장 적용성 평가 Field Evaluation of Scour Countermeasure Using Geobag

박재현¹⁾, Jaehyun Park, 곽기석²⁾, Kiseok, Kwak, , 이주형³⁾, Juhyung, Lee, 정문경⁴⁾, Moonkyung, Chung

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology, jaehyeon@kict.re.kr

²⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology

³⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology

⁴⁾ 한국건설기술연구원 대외협력실 수석연구원, Research Fellow, International Cooperation and Public Relations Division, Korea Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : Field evaluation of new scour countermeasure using geobag and aggregate is performed to prepare for the basis of design and construction standard in Korea. Polyester non-woven geotextile is determined as a geobag material and tire cord is used to sew up the geobag which contain aggregate. Hwasang-gyo(bridge) is selected as a pilot test site through office review and field investigation. According to the design flood of Hwasang-gyo(bridge), the size and volume of geobag are calculated and construction area and required number of geobags are computed by considering the specification of the pier and foundation of the bridge. After construction, scour depth around geobag construction area is measured and the stability of geobag is ascertained by using pole and digital camera.

Key words : Scour countermeasure, Geobag, Aggregate, Field evaluation, Pilot test

1. 서 론

기존 세굴보호공에 비해 더 안정적이고 경제적인 세굴대책공법을 개발하기 위하여 지오백(geobag)과 골재를 채움재로 사용하는 새로운 개념의 세굴보호공법을 제안하였고 이에 대한 기초연구를 수행하였다(곽기석 등, 2004). 골재를 채움재로 이용한 지오백 세굴보호공법의 기본 개념은 그림 1에서 보는 바와 같이 부직포로 제작한 지오백 속에 골재를 채워 세굴이 발생한 교각주위에 일정 범위만큼 포설하는 것이다. 이 방법은 수심, 유속, 유량 등 현장 수리조건과 교량 제원에 따라 지오백의 크기와 채움재인 골재의 양을 조절함으로써 세굴방지책으로서 합리적인 시공이 가능하며, 지오백으로 사용되는 토목섬유의 필터효과에 의해 하상입자의 유출이 방지되어 세굴보호공 자체의 파괴 가능성이 현저히 감소됨으로써 교량의 안정성은 증대된다.

본 연구에서는 국내 실정에 맞는 경제적이고 안정성이 높은 세굴보호공법의 개발 및 이에 대한 설계·시공 기준을 제시하기 위해 전년도에 제안되어 재료에 대한 기본 물성 실험과 해석적 연구를 통해 안정성이 입증된 지오백과 골재를 이용한 세굴보호공법을 실제 교량 현장에 시공하여 현장 적용성 평가를 실시하였다.

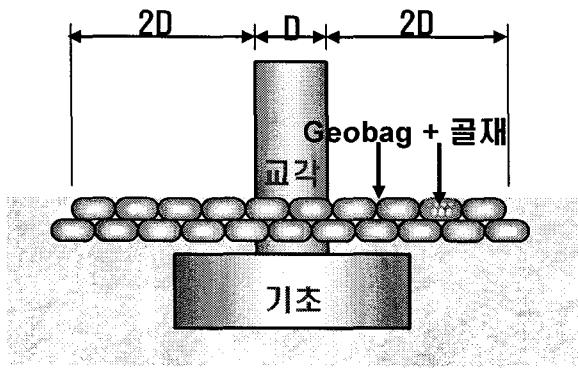


그림 1. 지오백 세굴보호공 모식도

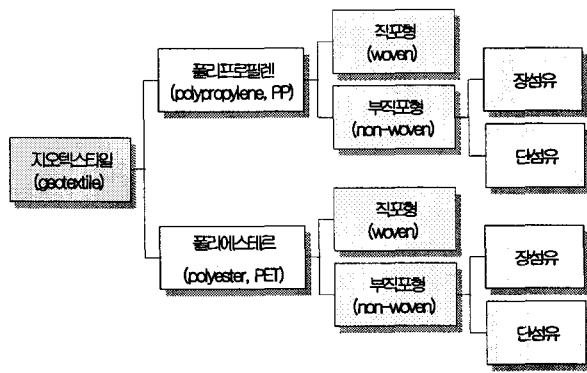


그림 2. 지오백용 지오텍스타일 종류

2. 재료 선정

토목섬유의 종류는 크게 지오텍스타일(geotextile), 지오그리드(geogrid), 지오멤브레인(geomembrane), 지오컴포지트(geocomposite) 등으로 나눌 수 있으며, 격자형의 큰 구멍이 뚫린 지오그리드는 비교적 견고하여 사면 및 옹벽 등의 지반 보강제로 많이 사용되며, 지오멤브레인은 댐이나 호수 근접지역에 건설되는 터널 등 지하 구조물에서의 차수, 쓰레기 매립장의 침출수에 의한 지하수 오염방지를 위한 환경오염물질의 격리를 위한 소재로 사용되고 있다. 이들 중 두 가지 이상의 토목섬유를 복합하여 원하는 기능을 갖도록 만든 토목섬유를 총칭하여 지오컴포지트라 하며 그 종류는 보강용, 배수용, 액체·기체 차단용, 침식방지용 등 다양하다. 그러나 지반공학적 거동에 대한 명확한 규명이 부족하고 경제성, 시공성 등의 문제로 인해 현재 널리 사용되고 있지 않다. 반면에 지오텍스타일은 필터기능, 분리기능, 보강기능, 배수기능 등 다양한 우수성으로 인해 제방과 하상의 침식안정, 파괴된 제방의 복구, 제방 코아, 제방축조, 지하구조물, 쓰레기 매립장 등 그 적용분야를 넓혀가고 있다. 본 연구에서는 수중의 하상에 거치되어 세굴방지 효과뿐만 아니라 그 자체의 구조적 안정성 확보를 위해서 필터, 분리, 배수 기능이 우수한 지오텍스타일을 지오백의 재료로써 선정하였다.

지오텍스타일의 소재는 통상 폴리프로필렌(polypropylene, PP)과 폴리에스터(polyester, PET) 두 종류가 사용되며, 제작방식에 따라 직포(woven geotextile)와 부직포(nonwoven geotextile)로 나뉜다. 직포형 지오텍스타일은 필라멘트사 또는 방적사를 이용하여 경, 위사를 직각형태로 교차해서 제조한 제품이고, 부직포형 지오텍스타일은 장섬유 또는 단섬유 필라멘트를 니들핀팅 또는 열융착 등의 방법으로 결합하여 제조한 것이다(그림 2). 장섬유는 방사기의 구멍으로부터 압출·방사된 연속된 길이를 갖는 섬유이고, 단섬유는 중합탱크에서 직접 방사하여 경화·연신한 후 3~15cm 길이로 절단시켜 제조한 섬유이다. 일반적으로 장섬유 부직포가 단섬유 부직포에 비해 인장강도가 더 큰 반면에 인장신율은 더 작고, 제품의 가격이 상대적으로 고가이다. 국내의 경우 단섬유 부직포는 주로 폴리프로필렌(PP)을 원료로 제작하여 필터목적으로 사용되고, 필터기능 이외에 보강기능을 요하는 경우에는 인장강도 특성이 우수한 폴리에스터(PET) 장섬유를 주로 사용한다. 한편, 독일의 Heibaum(1999)은 교량의 세굴방지를 위해 사용되는 지오백의 토목섬유 재료의 선정기준을 표 1과 같이 제시하였다.

표 1. 세굴방지용 지오백의 토목섬유 물성치

토목섬유 종류	최소 중량(g/m^2)	파단시 최소신율(%)	최소 인장강도(kN/m^2)
부직포 지오텍스타일 (Heibaum, 1999)	500	50	25
시험시공 부직포 지오텍스타일	550	60~100	28

토목섬유 및 지오백에 대한 기존 연구결과 직포에 비해서 부직포가 세굴보호공용 지오백으로서 적합한 것으로 나타났으며, Heibaum(1999)이 제시한 기준에 근접하는 국산 부직포 2종(PP 부직포, PET 부직포)을 선정하여 재료특성을 실험한 결과 PET 장섬유 부직포가 물리적 특성, 수리학적 특성, 화학적 특성 등이 가장 우수한 것으로 나타났다(곽기석 등, 2004). 본 세굴보호공법의 시험시공에 사용된 부직포의 물성을 표 1에 나타내었으며, 지오백의 채움재로 사용된 천연골재의 기본 물성치는 표 2와 같다.

표 2. 지오백 채움재 골재의 주요 물성

구 분	단위중량 (kg/m^3)	비 중	흡수율(%)	중간입경(d_{50}) (mm)	단 가 (원/ m^3)
천연골재	1,800	2.64	1.13	40	9,700

3. 현장 시험시공

3.1 대상 교량 선정

지오백과 골재를 채움재로 사용한 세굴보호공법의 현장 적용성 평가를 위하여 강릉국도 관내의 국도 교량에 대해서 시험시공을 실시하였다. 강릉국도 관내 교량의 경우 산지에 위치한 경우가 많아서 상대적으로 높은 하상 경사로 인해 홍수시 유속이 급속히 증가하는 경향을 보이며 상류부로부터의 유송잡물이 집적되어 월류 및 교량 전도의 가능성이 높다. 또한 2002년 집중호우 및 태풍 '루사'로 인해 영동지방은 350~900mm의 강우가 내려 타 지역보다 2~3배 이상 강수량이 많았으며, 특히 강릉지역에서는 기상관측 이후 최대인 약 871mm의 일일강우량을 기록하면서 인명 피해뿐만 아니라 산사태와 교량 유실 등으로 국가 기간 교통망이 마비되고 수많은 건물과 하천이 피해를 입었다(중앙재해대책본부, 2002). 따라서 교량관리시스템(건설교통부, 2000) 내에 등록되어 관리되고 있는 강릉국도 관내 교량 중 강릉·양양 지역에 위치한 교량에 대해서 사전조사를 실시하여(표 3) 시험시공을 실시할 교량을 선정하였다.

표 3. 시험시공을 위한 사전 현장조사 교량

번호	교량명	교량코드	위치	하천명	세굴보호공	교장	하상재료
1	고단교	00364	강릉 왕산 고단	송현천	미설치	45	모래질자갈
2	동막교	26606	삼척 근덕 동막	마읍천	사석보호공	124	자갈질모래
3	송천교	00409	양양 서 송천	오색천	미설치	90	모래질자갈
4	방도교	26516	강릉 성산 구산	강릉남대천	미설치	35	자갈질
5	화상교	26522	양양 협남 지경	화상천	미설치	75	모래질*
6	낙풍교	26503	강릉 옥계 현내	낙풍천	미설치	67	모래질자갈
7	주수교	26502	강릉 옥계 주수	주수천	미설치	205	모래질*

상대적으로 세굴이 빠른 속도로 발생하는 모래질 하상에 설치된 교량은 화상교와 주수교이다. 모래질 하상은 하상재료 입자간 점착력이 거의 없고 입자의 세굴 저항력이 낮아서 세립토 하상이나 자갈질 하

상에 비해서 상대적으로 세굴 가능성이 높고 홍수시 단기간에 최대 세굴심에 도달하기 때문에 세굴에 대한 기초의 안정성이 낮다. 따라서 본 연구에서는 상대적으로 세굴 안정성이 낮은 화상교와 주수교에 대해서 세굴보호공법 시험시공을 위한 현장 상세조사를 실시하였으며 그 결과는 표 4와 같다.

화상교의 경우 평수 시 주 하도 상에 두 기의 교각이 위치하고 있으므로 평수 시는 물론이고 홍수 시 흐름에 의한 세굴 영향 평가를 두 교각에 대해서 동일한 기준으로 실시할 수 있으므로, 지오백 세굴보호공법의 현장 시험시공을 화상교에 대해서 실시하였다. 주 하도 상에 위치한 두 기의 교각 중 한 곳에 세굴보호공을 설치하여 그 적용성을 평가하였다. 세굴보호공의 포설 범위는 교각 및 푸팅의 크기를 고려하여 결정하였으며, 포설 범위에 대한 골재의 소요량은 표 6.8과 같다.

표 4. 화상교, 주수교 현장 조사 결과

구 분	화상교	주수교	구 분	화상교	주수교
위치	양양 현남 지경	강릉 옥계 주수	최대경간장	16.3 m	53 m
교량코드	26522	26502	경간수	5	5
위경도			흐름유입각	10°	15°
차선수	왕복 4차선	왕복 2차선	기초형태	말뚝	말뚝
교통량	24112 대/일	4538 대/일	푸팅폭	3 m	5 m
교장	75 m	205 m	기초근입심도	20 m	13 m
교고	3.8 m	11m	측정세굴심	50 cm	50 cm
교폭	19 m	11 m	최대 세굴심 발생위치	하행 2 번째 교각	하행 2 번째 교각
교각형상	타원	타원	교량피해, 수리여부	없음	없음
교각폭	정면 (1.0)m 측면(2.5)m	정면 (1.5)m 측면(3.0)m	특이점	주하도상 교각 2기 위치	모든 교각 푸팅 노출

표 5. 세굴보호공 포설 넓이 및 소요 골재량

교량명	대상교각	교각폭(m)	포설넓이(m^2)	소요체적(m^3)	기초종류	소요지오백 수
화상교	하행 2번쨰	1.00	220	150	말뚝	250

3.2 지오백 크기 결정

세굴보호공법 시험시공을 위한 지오백의 크기 결정을 위해서 하천설계기준(2005)에서 추천하고 있는 사석 크기 결정식 Richardson 경험식(2001)을 적용하였다. 이 식은 미국연방도로국(FHWA)의 HEC-18 (Richardson and Davis, 2001)에서 제안하고 있는 공식이며, 교각 형상계수와 교각부 유속(m/s), 사석의 비중을 고려한 식이다.

$$d_{50} = 0.692 \frac{(KV)^2}{2g(S_s - 1)} \quad (1)$$

여기서, d_{50} =사석의 평균직경(m), K =교각형상계수(원형:1.5, 사각형:1.7), V =교각부 유속(m/s), S_s =사석의 비중, g =중력가속도(m/sec^2). 그런데, 지오백은 내부가 가득 차있는 형태가 아니고 골재의 간극이

존재하는 형태이므로 위의 식을 적용함에 있어 사석 입자들의 간극과 비중을 고려해야 한다. 즉, 식 1을 지오백 내의 골재 입자 간극을 고려한 식으로 수정하여 지오백의 크기를 산정해야 한다. 골재의 입자 간극을 고려한 지오백 크기 산정식은 다음과 같다.

$$D_{50} = 0.692 \frac{(KV)^2}{2g(G_{ts} - \frac{1}{1+e})} \quad (2)$$

여기서, D_{50} =지오백의 크기(m), e =골재의 간극비, G_{ts} =골재의 간극을 고려한 환산 비중이다. 표 2를 고려하여 식 2의 입력값을 구하면, 간극비(e)=0.467, 환산 비중(G_{ts})=1.80이 된다. 이 값을 이용하여 원형교각일 경우 유속에 따른 지오백의 직경(D_{50})과 체적을 구하면 그림 3과 같다.

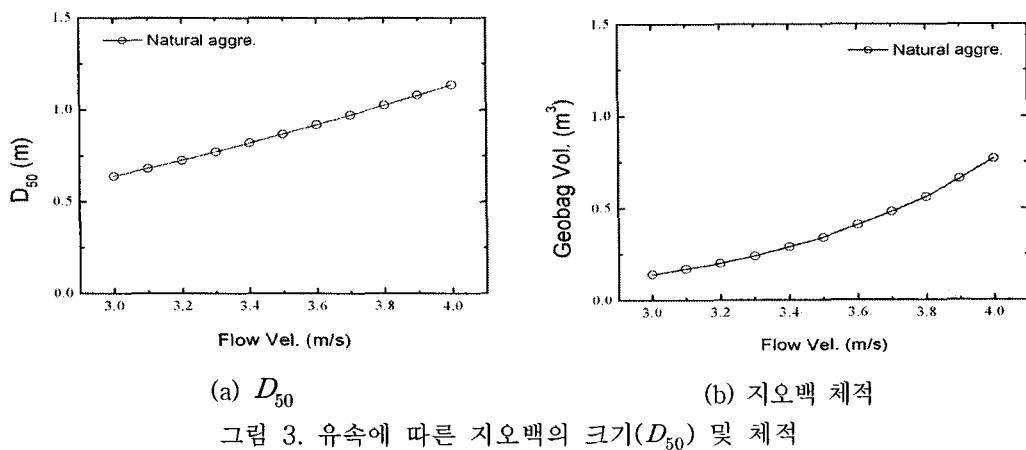


그림 3에서 보듯이 설계빈도의 홍수 시의 유속이 4m/s, 3.5m/s, 3.0m/s 일 경우 지오백의 체적은 각각 약 $0.77m^3$, $0.343m^3$, $0.14m^3$ 가 됨을 알 수 있다. 화상교가 위치한 화상천의 100년 빈도 홍수에 대한 설계 유속은 약 2.5m/s 하지만 2002년 태풍 ‘루사’ 때와 같은 극대 홍수에 대한 안정성을 확보하기 위하여 본 연구에서는 3.5m/s~4.0m/s 설계 유속에 대해서 지오백의 크기 및 골재량을 결정하였다.

3.3 시공 방법

시험시공 대상 교량인 화상교의 경우 평수 시 수심이 1.3 ~ 1.5 m이며, 접근 제방 거리가 30m 정도이고 자재의 반입 및 장비의 접근성은 우수한 편이다. 대상 교각의 주위에 지오백을 포설할 경우 하상지반의 정리가 필요하므로 가물막이 작업과 터파기 작업이 선행되어야 하며, 동시에 골재 반입 및 지오백의 재봉이 병행되어야 한다. 골재 채움 후 봉합 및 인양, 거치 작업을 원활히 하고 홍수 시 골재 입자의 유동적인 움직임을 가능하게 하기 위해서 지오백의 체적은 약 $0.7 m^3$ 가 되게 재봉하였으며, 지오백 체적의 70~80% 정도인 $0.5m^3$ 내외의 골재를 채워 지오백을 재봉한 후 대상 교각 주위에 포설하였다. 지오백은 두 층으로 포설하였으며 하부층과 상부층의 지오백을 엇갈리게 배치하여 맞물림(interlocking) 효과를 얻도록 하였다.

폴리에스터(PET) 부직포 지오텍스탈을 지오백 형태로 만들기 위해 재봉 작업이 필요하며, 신율이 크고 보강 효과가 우수한 부직포를 일정 형태로 유지하도록 제작하기 위해서는 이보다 인장강도가 높은 타이어 코드사 또는 고강력 재봉사를 사용해야 한다. 본 연구에서는 210D 규격의 타이어 코드 원사 16 올을 꼬아서 만든 재봉사를 사용하여 지오백을 재봉하였으며, 재봉 부위의 안정성을 높이기 위하여 4열

로 평행하게 재봉하였다. 지오백 재봉 후 직육면체의 형태를 유지하여 맞물림 효과는 물론 미관상의 우수성을 높이도록 하였으며, 현장에서 기계봉합을 한번 더 함으로써 내부의 골재를 보호하고 지오백 자체의 안정성도 확보하도록 하였다. 지오백 내에 소요량의 골재를 채우기 위해서 계량대를 설치하여 골재 채움을 하였으며 지오백의 인양 및 포설시에 골재의 파손을 막기 위하여 판위에 지오백을 올려놓고 백호우를 사용하여 인양하였다. 대상 위치에 골재를 채운 지오백을 인양한 후 엇갈림 배치를 하기 위해서 인력 작업으로써 지오백을 안정화 하였다(그림 4). 지오백이 지오텍스타일 소재로서 설치 형태에 따라 가변적 형상을 보이므로 백호우의 베켓을 이용하여 지오백의 상하좌우면을 다지는 작업을 실시하여 지오백의 형상을 유지하였다. 포설 넓이는 교각폭의 주위로 교각폭의 두 배 이상의 폭만큼 포설하도록 하며, 세굴보호공으로서 포설된 지오백의 상부 높이는 주위의 하상고보다 높지 않아야 하므로 부지 정리를 통해 하상 지반고와 동일하게 다졌다. 시험 시공 후 하천의 흐름 양상에 대한 변화와 지오백의 안정성 및 타 교각의 세굴 발생 여부에 대한 주기적인 관측과 모니터링이 필요하다.

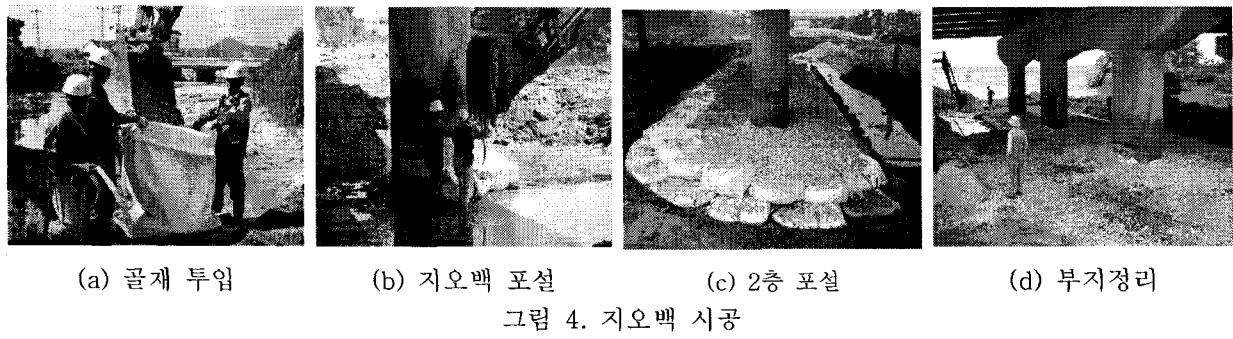


그림 4. 지오백 시공

3.4 홍수 후 모니터링

하절기 태풍 및 집중호우 등 홍수에 의한 세굴보호공의 안정성을 확인하기 위하여 2005년 9월말 시험시공 교량인 화상교를 방문하여 세굴심 측정 및 지오백의 안정성 여부를 확인하였다. 시험시공 후 강원도 지역은 장마와 집중호우 및 태풍 ‘나비’의 영향을 받았으며, 일 최대 강수량 190mm를 기록한 바 있다(기상청, <http://www.kma.go.kr>). 세굴보호공이 설치된 하행 2번째 교각에 대해서 지오백의 안정성을 조사한 결과 지오백의 침식, 이동 및 유실 흔적은 없었다. 이는 지오백을 두 층으로 엇갈리게 포설함으로써 지오백 간 맞물림 효과가 발생한 것뿐만 아니라 지오백 간의 간극이 최소화되어 보호공 자체의 구조적 안정성이 높았기 때문이다.

보호공의 세굴에 대한 안정성을 확인하기 위해서 수심측정용 막대(pole)와 디지털 카메라를 사용하여 지오백 세굴보호공이 포설된 교각 주위의 세굴심을 측정하였다(그림 5, 그림 6). 세굴심 측정 결과 세굴보호공이 설치된 부분은 수심의 변화가 거의 없어 보호공의 안정성 및 세굴 안정성을 확인할 수 있었으며, 세굴보호공이 설치되지 않은 부분 중 교대쪽 하상은 수심의 큰 변화 없이 세굴에 대해 안정적인 모습을 보였다. 다만 세굴보호공이 설치되지 않은 부분 중 세굴보호공이 설치되지 않은 하행 방향 3번째 교각쪽 일부는 유심부에 위치하고 홍수시 유속이 큰 흐름의 영향으로 인해 다소간 침식이 발생된 것으로 보인다. 따라서 이 부분은 장기간의 주기적인 모니터링을 통해 세굴 안정성에 대한 면밀한 분석 및 검토가 이루어져야 할 것이다.

이상의 세굴보호공 현장 모니터링 결과, 지오백 세굴보호공법은 보호공 자체의 구조적 안정성이 확보되었을 뿐만 아니라, 홍수시 세굴에 대한 안정성 역시 우수한 것으로 확인되었다.

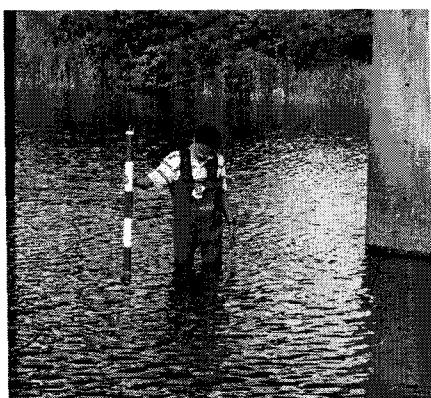
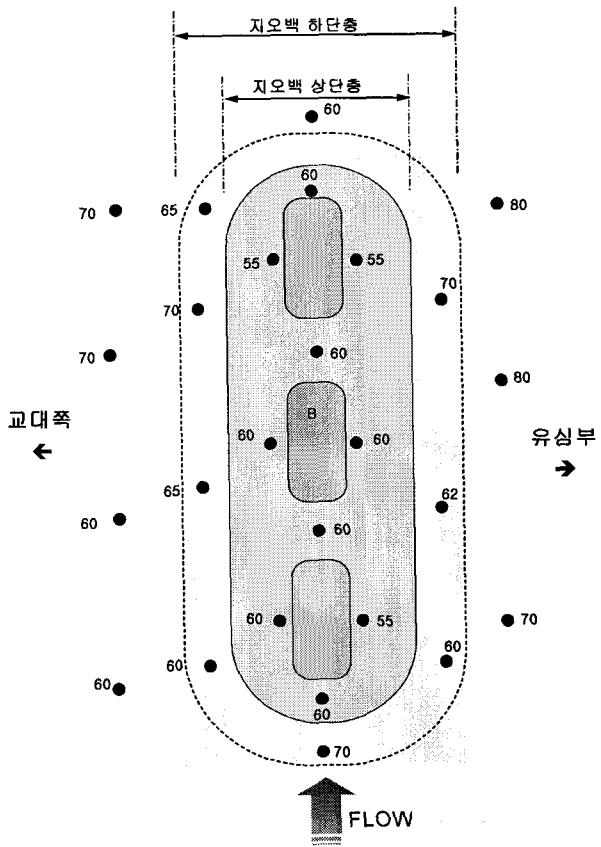


그림 5. 수심측정



참 고 문 헌

1. 건설교통부(2000), '99 교량관리시스템(BMS) 운영 및 유지관리 - 일반국도상 교량 구조물도
2. 건설교통부(2005), 하천설계기준
3. 꽈기석 등(2004), 교량기초 장수명화 기술 개발, 연구보고서, 건기연 2004-034, 한국건설기술연구원.
4. 중앙재해대책본부(2002), 중앙재해대책본부 방재속보.
5. Heibaum, M.H..(1999), "Scour Countermeasures Using Geosynthetics and Partially Grouted Riprap" , Federal Waterways Engineering and Research Institute(BAW), Karlsruhe, Germany, *Proceeding of the Transportation Research Board*, 5th International Bridge Engineering Conference, Tampa, FL.
6. Richardson, E.V. and Davis, S.R. (2001), *Evaluating Scour at Bridges*, Hydraulic Engineering Circular No.18, Fourth Edition, FHWA NHI 01-001, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
7. Richardson, E.V., Simons, D.B., and Lagasse, P.F. (2001), *River Engineering for Highway Encroachments-Highways in the River Environment*, FHWA NHI 01-004, Federal Highway Administration, Hydraulic Series No.6, Washington, D.C.
8. 기상청, <http://www.kma.go.kr>