

## 조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한 마산항 재해방지시설의 편익산정 비교

서인호\* · 신승식\*\*

### Estimation and Comparison of Benefits of Disaster Prevention Facilities at the Masan Port with CVM and MD-FDA

Inho Seo · Seungsik Shin

**Abstract :** This study set out to estimate and compare benefits of damage in case of storm surge at the Masan Port by using two of the most representative methodologies used to estimate benefits in port disaster prevention facility construction, namely CVM(contingent valuation method), which estimates the values of non-market goods, and MD-FDA(multi-dimensional flood damage analysis), which had usually been implemented in flood or dam projects. The benefit estimation for 30 years of costs was 2.5689 trillion won for CVM and 2.9596 trillion won for MD-FDA, which indicates that there was no big difference in benefits among disaster prevention facilities. However, in-depth testing should follow to figure out whether MD-FDA can replace CVM, which has been tested with non-market goods, when estimating the benefits of disaster prevention facilities based on those findings.

**Key Words :** CVM, MD-FDA, Storm-Surge, Masan port, port disaster prevention

---

▷ 논문접수: 2013.10.22   ▷ 심사완료: 2013.12.25.   ▷ 게재확정: 2013.12.28

\* 여수광양항만공사, krece08@gmail.com, 010)2616-0556

\*\* 전남대학교 물류교통학전공 부교수, shin2han@chonnam.ac.kr, 061)659-7341

## I. 서론

최근 온실가스 배출 등으로 인한 지구온난화현상은 지구환경 변화에 따른 자연재해로 이어지고 있으며, 이로 인하여 미국, 중국, 인도네시아, 아이티, 칠레 등 세계 각국에서는 지진, 허리케인, 해일, 화재 등의 대형 참사가 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 가운데 우리나라는 수십 년간 꾸준히 양적인 경제 성장을 이루어 왔지만 각종 재난에 대한 대처 능력은 많이 취약한 실정이다. 우리나라에 발생하고 있는 자연재해 가운데 가장 피해 규모가 큰 재난은 태풍을 동반한 재해라고 할 수 있다. 현재까지 남해안과 동해안을 중심으로 대형 태풍 피해가 있었는데, 북구 작업 중 또 다른 태풍이 밀어닥쳐 이중고를 겪는 일이 여러 해에 걸쳐 발생하곤 하였다. 특히 2002년의 태풍 '루사'와 2003년의 태풍 '매미'의 경우, 그 이전에 발생한 일반적인 태풍과 달리, 단일재난으로서 약 6조원이라는 막대한 손실을 가져왔다. 특히 2003년 9월 12일 한반도에 상륙했던 태풍 매미(태풍번호: 0314, 국제명: MAEMI)는 영남 지방을 중심으로 막대한 피해를 일으켰다. 태풍 매미에 의한 피해는 사망 및 실종 132명, 이재민 6만1000명, 재산 피해액 4조7000만원(2003년 화폐가치 기준)이었고, 수도권 일대를 제외한 전국 대부분의 지역이 '특별재해지역'으로 선포되었다. 태풍 매미의 폭풍역에 해당했던 지역의 최대순간풍속은 제주도 초속 60.0m, 전남 여수 초속 49.2m, 부산 초속 42.7m 등 대부분의 지역에서 관측 사상 최대의 풍속을 기록하였다. 더욱이 태풍 매미는 다른 태풍에 비해 폭풍해일(storm surge)을 동반하면서 피해를 가중시켰다. 특히 태풍 매미의 피해가 심각했던 마산 지역의 경우, 해안 지역을 강타한 폭풍해일에 따른 침수가 발생해 지하 노래방에 갇힌 12명이 익사하는 사고가 발생하였으며 건물 및 해안시설 등의 총 피해현황 액수는 4093억 원으로 전국에서 가장 큰 피해액을 기록하였다. 당시 기상청은 태풍 매미에 의한 마산만의 해수면 상승 수치를 180cm로 예측했으나 실제로는 폭풍해일이 동반하면서 해수면이 무려 439cm나 상승하여 피해액이 더욱 커졌다. 앞으로 태풍으로 인한 폭풍해일(storm surgy)은 지구 기후 온난화에 따른 해양에너지 증가로 태풍과 동반한 폭풍해일의 규모가 강화되고 발생 빈도 역시 더 늘어날 것으로 예측되고 있다. 우리나라에서는 국토해양부가 기수 변화에 따른 해수면 상승과 폭풍해일 등으로부터 항만구역 내의 재해 취약지구를 보호하기 위해, 2011년 「기후변화에 따른 항만구역 내 재해 취약지구 정비계획 수립 용역」 및 「기후변화에 따른 항만구역 내 재해 취약지구 정비계획」을 수립한 바 있으며, 2012년 상반기에는 목포항 지역에 항만방재시설을 설치하기 위해 기획재정부에 「간이 예비타당성 조사」를 의뢰하기도 하였다. 이와 같이 최근 정부를 중심으로 폭풍해일로부터 재해취약 항만지역을 보호하기 위한 방재시설 설치의 필요성이 제기되고 일부 지역에서 이미 사업화가 구체화됨에 따라 이미 타당성

검토를 위한 경제적 방법론 수립이 필요하다.

본 연구에서는 폭풍해일로 인한 홍수 피해가 가장 컸던 마산 지역에 대하여, 두 가지 방법론을 적용해 홍수 피해액을 산정하고 그 편익을 비교하고자 한다. 첫 번째로는 수자원 분야의 홍수 피해 산정에 주로 이용되는 다차원홍수피해산정기법(MD-FDA)으로 폭풍해일의 피해 규모와 피해액을 산정하였으며, 두 번째로는 폭풍해일이 왔다는 가상 상황을 가정하여 변하지 않는다는 조건으로 항만방재시설물 건설시 발생하는 사회적인 편익을 지불의사금액(Willingness to Pay, WTP)을 통한 조건부가치추정법(CVM, Contingent Valuation Method)을 사용하여 도출하고자 한다.

## II. 재난방재와 폭풍해일에 관한 이론적 논의

### 1. 자연재난과 재난방재 관리

정보통신정책연구원(2005)의 「자연재난과 방재시스템」에 의하면 자연재난은 홍수, 호우, 태풍, 폭우, 폭설, 폭풍, 가뭄 또는 지진 등 이에 준하는 자연현상으로 인해 발생하는 피해라고 정의할 수 있다. 따라서 국민의 생명과 재산을 보호할 의무가 있는 국가의 입장에서는 예측하기 어렵고, 엄청난 피해를 수반하는 각종 재난에 대한 근본적인 대책을 수립하는 것이 가장 중요한 의무라고 할 수 있다. 과학기술의 발전과 더불어 산업사회로 진입한 오늘날, 자연재난의 발생은 인간의 노력으로 완전히 예방할 수는 없지만, 어느 정도 피해규모를 감소시킬 수 있다고 인식하게 되었다. 따라서 오늘날 많은 국가들은 자연재난의 예방·대비·대응·복구와 관련된 정책을 정부 주도로 수립하여 진행하고, 자연재난 관리에 대한 공적 책임 역시 정부가 지고 있다. 또한 다양한 유형의 공공 조직을 구성하여 자연재난 관리 활동을 전개하고 있는 것이다. 우리나라 재난 관리 체계에서 다루고 있는 자연재난 살펴보면 다음과 같다. 먼저, ‘재난 및 안전관리 기본법’은 자연재난을 태풍·홍수·호우·폭풍·해일·폭설·가뭄·지진·황사 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해로 규정하고 있다. ‘농어업재해 대책법’에서는 농업과 관련한 한해·수해·풍해·냉해·우박·서리·조해·설해·동해·병충해 등, 어업과 관련한 이상조류·적조현상, 태풍·해일 등을 자연재난으로 보고 있다.

이 중에서 폭풍은 우리나라에서 가장 빈번하게 나타나는 자연재난으로 1월부터 6월까지, 10월부터 12월까지 주로 나타나며 태풍은 7월부터 9월까지 3개월 동안 집중적으

로 발생한다. 이처럼 우리나라는 계절별·지역별로 기상변화가 심해 풍수해로 인한 피해가 적지 않다. 이 같은 경향은 산업화 이후 도시 지역으로의 인구 유입과 도시화로 인해 가속화되고 있다.

## 2. 연안방재에 관한 국내외 사례

지구온난화 등의 기후변화로 인하여 해수면이 상승함에 따라, 여름철 태풍의 위력이 보다 강력해지고 집중호우 발생이 증가하는 등 시간이 갈수록 지구는 자연재해의 위험에 더 많이 노출되고 있다. 이는 특정 국가나 지역만의 문제가 아니라 전 세계적 현상이다. 이와 관련 연안방재 선진국들은 적극적인 대응책을 제시하고 있다. 연안에서의 대표적인 재해 원인은 바로 침수 범람에 따른 피해다. 방재 선진국으로 불리고 있는 미국과 일본 그리고 영국, 네덜란드, 덴마크, 독일 등의 유럽 국가에서는 일찍이 이러한 해양 재해에 대한 대응책을 마련하여 추진하고 있다. 일본의 경우, 이세만 태풍 내습(1953년 9월)으로 일본 연안에 막대한 피해를 겪은 이후 일본 기상청을 중심으로 태풍 시 해일 상황 등을 신속하고 정확하게 파악하기 위한 검조소의 '원격 자기검조장치 갱신 및 예보시스템'을 구축하여왔으며, 전국 연안에 지진해일 및 폭풍해일에 대한 상시 감시 체계를 강화해 관련 정보를 신속하게 발표하고 있다. 또 유럽 국가들은 해일의 피해를 직접적으로 막아주는 시설인 '해일차단벽(Storm Surge Barrier)'을 건설하여 보다 적극적인 해일 방어책을 마련하고 있다. 네덜란드는 1953년 로테르담 지역을 덮친 폭풍해일이 1800명 이상의 인명피해와 막대한 재산피해를 입히자 특별대책(Delta Plan)을 수립하고 '매슬란트 폭풍해일 방재시설(Maeslant Storm Surge Barrier)' 등 재해예방시설을 구축했으며, 영국 역시 1982년 '템즈강 홍수조절센터(Thames Barrier)'를 완공하여 운용하고 있다. 이탈리아는 베니스를 폭풍해일로부터 보호하기 위해 '모세 프로젝트'를 추진하여 지난 2003년부터 통합적 방어시스템을 구축하고 있다. 지금까지의 연안재해 방어책은 방파제, 호안시설 등을 건설하는 수준이었으나, 최근 급격한 기후변화로 인해 연안재해의 규모가 전 세계적으로 확대되면서 기존의 시설물로는 모든 재해요소를 막아내는데 한계를 보이고 있다. 이러한 피해를 막기 위해서는 기후변화를 고려한 설계 조건의 강화와 함께 새로운 형태의 연안방재시설 및 예·경보 시스템 구축이 반드시 필요하게 되었다. 우리나라의 폭풍해일 방재시스템 현황의 경우 우리나라에서 가장 큰 피해규모를 기록한 2003년 태풍 '매미' 발생 이후, 폭풍해일에 대비할 수 있는 연안방재연구 등이 민간적, 국가적 차원에서 많이 이루어져왔다. 조홍연(2007)의 「연안재해의 특성과 최적 방재기법」에서 기상과 공학, 통계 등 여러 학문을 통합하여 순차

**조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교**

적인 방재기법에 대한 방향을 제시하였고, 홍원식(2008)은 해양 기상관측을 통하여 폭풍해일로 인한 예상 침수구역을 예측하고 재해정보지도를 작성하는 연구를 진행하였다. 2011년 국토해양부<sup>1)</sup>는 연안침수 및 홍수피해 등에 대비한 종합대비책 ‘아라미르 프로젝트’를 발표하였는데, 과거에 태풍이나 해일 등으로 침수피해가 있었거나 앞으로 피해가 예상되는 항만과 배후 도심권 저지대권역에 새로운 방재시설을 설치하여 국민의 생명과 재산을 보호한다는 내용을 담고 있다. 우선, 해일 침수피해가 예상되는 항만과 배후 도심권저지대 등 재해취약지역에 대한 방재시설 설치계획을 살펴보면, 총 54개 항만(무역항 29, 연안항 25)과 배후 도심권을 대상으로 침수 예상범위를 산정하여 22개 지역을 방재시설이 필요한 항만도시로 선정하였다. 22개 항만도시 중에는 지진해일로 인한 침수피해가 예상되는 삼척항과 태풍의 경로 상에 위치해 있어 피해가 자주 발생했던 서해안과 남해안의 항만들이 포함되어 있다. 또, 도시가 저지대에 형성되어 있어 침수피해가 잦은 항만도시권역에는 항만의 입지 및 형상, 배수조건 등을 분석하여 게이트(수문 형식), 방재언덕, 방호벽 등 다양한 방재시설물들을 적극 도입한다는 계획이다. 앞서 언급한 바와 같이 원자력발전소와 같은 주요 국가 기간 시설물들에 대한 방재기능 역시 ‘아라미르 프로젝트’에서 수행하게 될 것이다. 이를 위하여 2030년까지 약 1조 3000억 원의 예산이 투입될 예정이다.

### Ⅲ. 항만재해의 피해 산정을 위한 두 가지 추정 방법

#### 1. 다차원홍수피해산정법

##### 1) 기본 이론

치수사업의 경제성분석은 사업 전은 물론 사업 후에도 편익의 실체가 완벽히 검증되기 쉽지 않으므로 장래 홍수피해에 대한 예측은 사업의 추진에 있어 매우 중요하고 민감한 사안이다. 신뢰할만한 홍수피해산정을 위해서는 공학적 측면과 경제적 측면이 모두 고려되어야 하기 때문에 이에 대한 분석과 조사 범위도 매우 폭넓을 수밖에 없다. 공학적 측면에서는 주로 수리·수문학적인 분석에 의한 범람모의와 제내지 침수예측을 실시하게 되는데, 이는 홍수피해산정은 물론이고 치수계획 전반에 있어 필수적이고 가장

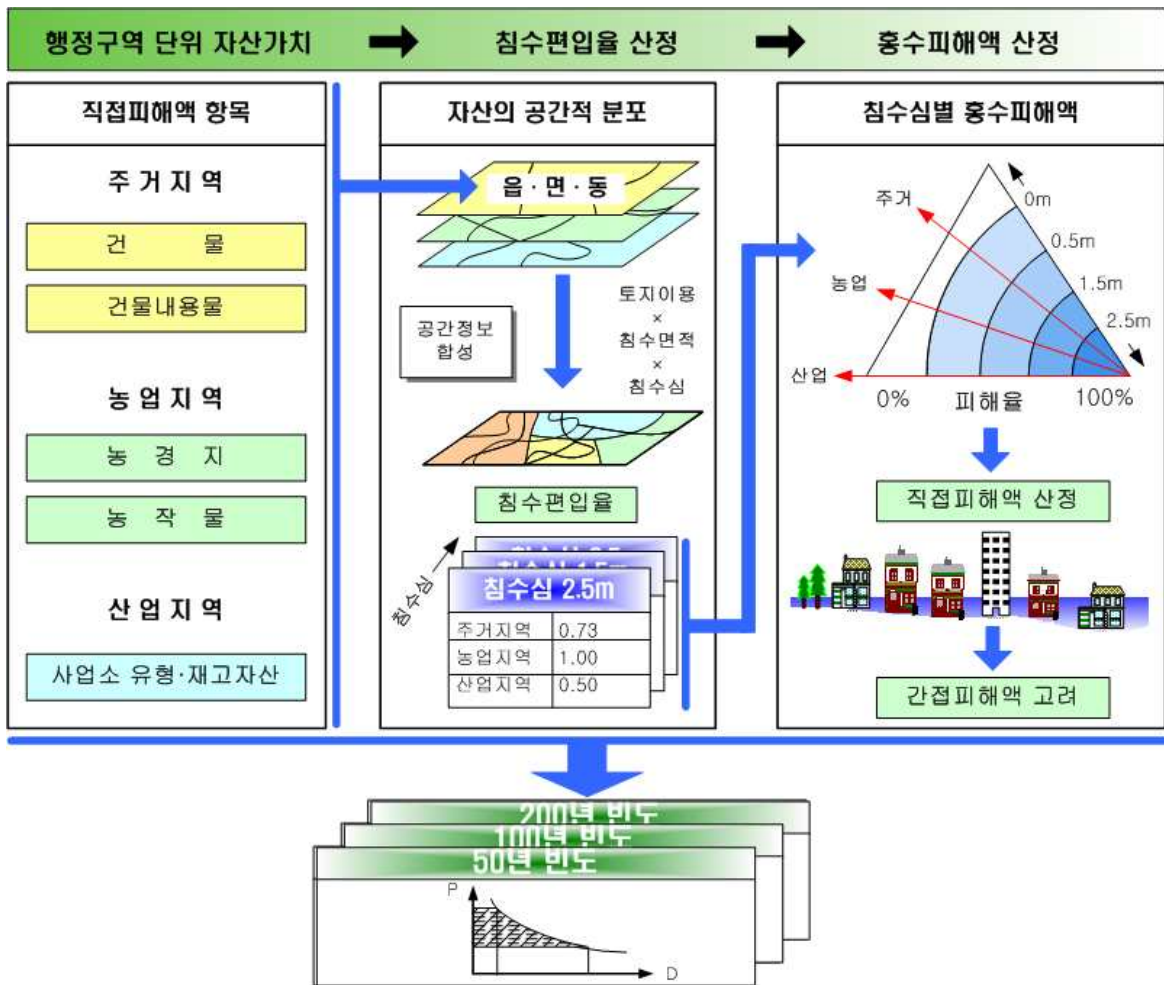
---

1) 국토해양부, 2011년 7월 25일자 보도자료.

기본적인 과정이다. 경제적 측면은 예측된 침수구역 내의 경제적 가치를 대변할 수 있는 각종 자료와 지표들을 조사하여 홍수피해로 계량화하는 과정이다(이충성 등, 2006).

세계 각국에서는 홍수에 의한 정확한 피해액 산정을 위해 다양한 모형을 개발하여 왔다. 일본에서는 GIS와 연계한 FDAM(Flood Damage Assessment Methodology) 모형을 개발하였으며, 미국은 육군공병단을 중심으로 HEC-FDA 모형을 개발하였다. 우리나라에서도 국토해양부가 홍수피해의 정량화를 위해 2004년에 「치수사업 경제성분석 연구」를 수행하였으며, 이 연구를 바탕으로 우리 실정에 부합하는 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA; Multi-Demension Flood Damage Analysis)을 개발하였다<sup>2)</sup>.

<그림 2> 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA)의 개념도



2) 건설교통부, 「치수사업 경제성분석 방법 연구」, 2004.

## 2) 다차원홍수피해산정법의 피해 항목

최근 국내에서 치수사업의 타당성 분석 시 적용되고 있는 홍수피해산정법은 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA)으로서, 기존보다 정밀한 홍수피해산정을 위해 건설교통부(2004a, 2004b)가 개발하였다. ‘다차원홍수피해산정법(MD-FDA)’은 <표 4-1>과 같이 통계자료를 조사하여 산정하는 5개의 일반자산 피해항목과 90년대까지 사용되어오던 ‘간편법(건설부, 1985;1993)’의 원단위를 이용한 이명/이재민 피해 그리고 일반자산 피해에 비율계수를 곱하여 계산하는 공공시설 피해 등 총 7가지 피해항목으로 구성되어 있다.

**<표 1> 다차원홍수피해산정법의 행정구별별 일반자산 피해항목 조사대상**

지역특성	대 상 자 산
주거지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건물 : 일반세대의 주거용 건물</li> <li>• 건물내용물 : 일반세대의 주거용 가정용품</li> </ul>
농업지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농경지 : 전·답</li> <li>• 농작물 : 홍수시에 있어서의 대표작물</li> </ul>
산업지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업소 유형·재고자산 : 사업소자산 중 토지를 제외한 생산설비나 재고자산</li> </ul>

## 3) 홍수피해경감효과 산정 방법

국토해양부는 2004년부터 「치수사업 경제성분석 방법 연구」에 의한 「다차원법」을 적용하고 있으며, 2008년에는 「수자원사업의 타당성분석 개선방안의 연구」를 통해 다차원법의 각종 통계수치, 원단위, 피해항목별 산정방법 등의 내용을 수정 및 보완하였다. 폭풍해일에 의한 침수피해는 홍수피해와 유사하다는 관점에서 경제성 분석시 국토해양부의 2004년과 2008년의 방법론을 적용하여 항만의 재해방재시설 편익을 산출하고자 한다. 국토해양부에서 적용하고 있는 치수사업 경제성 분석방법은 다음과 같이 다섯 단계로 구성된다.

- 1단계 : 빈도별(10년, 20년, 30년, 50년, 80년, 100년, 200년) 홍수량을 설정하고, 유량규모별 예상범람 침수구역도를 작성함.

- 2단계 : 다차원법을 이용하여 유량규모별 피해액을 작성함. 행정구역별로 주거, 농업, 산업지역의 자산가치 및 침수편입률 산정, 침수심별 피해액 산정 순으로 산정함.
- 3단계 : 유량규모별 연평균 초과확률과 피해경감액으로 부터 연평균 피해경감 기대액을 산정함.
- 4단계 : 매년의 비용과 편익을 기준년도의 가격으로 할인한 후 모두 합하여 현재가치화함. 매년의 편익은 경제성장에 따른 자산가치 증대효과를 고려하여 산정.
- 5단계 : 경제성 분석지표(B/C, NPV, IRR)를 분석함.

한편, 3단계의 연평균 피해경감기대액 산정은 다음 산출 도표에 따른다. 즉, 다음 <그림 2>에서 제시한 사각형의 면적의 총합이 연평균 피해경감기대액에 해당한다고 할 수 있다.

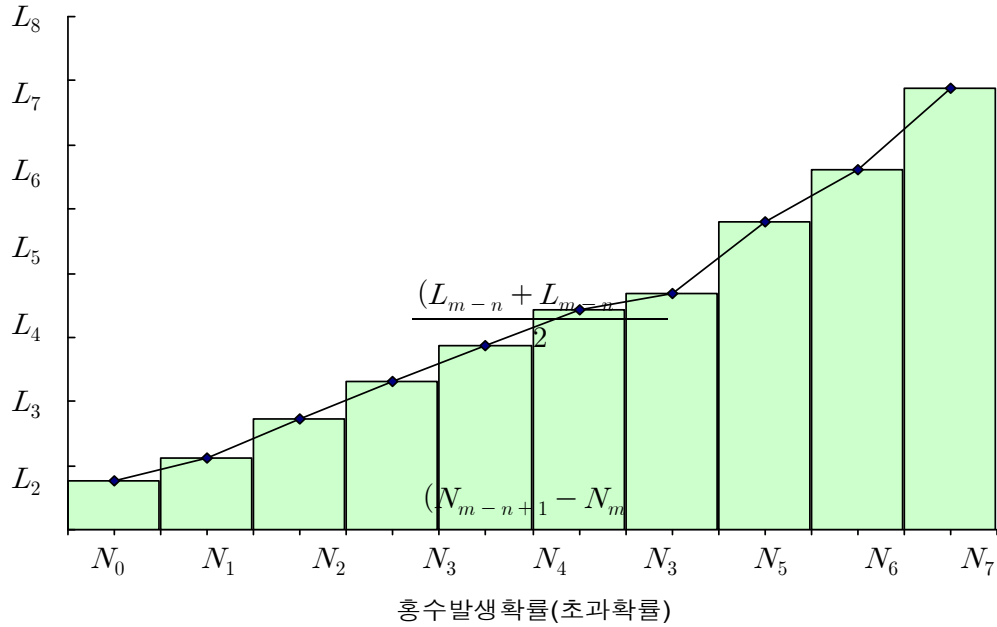
<표 2> 연평균 피해경감 기대액 산정 방법

홍수 규모	연 평균 초과 확률	$Q_{N-1} \sim Q_N$ 의 연평균 생기확률	유량 규모에 상응하는 예상 피해액	$Q_{N-1} \sim Q_N$ 의 예상피해액	생기확률 × 구간평균피해액	해당 유량규모 까지의 연평균 피해경감액 (누계피해액)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(3)×(5)	(7)=Σ(6)
$Q_o$	$N_o$	-	0	-	-	-
$Q_1$	$N_1$	$N_o - N_1$	$L_1$	$(L_o + L_1)/2$	$d_1=(3) \times (5)$	$d_1$
$Q_2$	$N_2$	$N_1 - N_2$	$L_2$	$(L_1 + L_2)/2$	$d_2=(3) \times (5)$	$d_1 + d_2$
...	...	...	...	...	...	...
$Q_m$	$N_m$	$N_{m-1} - N_m$	$L_m$	$(L_{m-1} + L_m)/2$	$d_m=(3) \times (5)$	$d_1+d_2+ \dots +d_m$

자료 : 신승식, 2013. “다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 이용한 기후변화 대비 항만 재난방재시설의 경제성 분석 방법”. 해양정책연구 제27권 2호.



<그림 3> 연 평균 피해경감 기대액 산정 도해



자료 : 신승식, 2013. “다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 이용한 기후변화 대비 항만 재  
 난방재시설의 경제성 분석 방법”. 해양정책연구 제27권 2호.

#### 4) MD-FDA에 관한 선행연구

다차원홍수피해산정법에 관한 선행연구는 태풍 및 홍수 등으로 인한 도시지역 또는  
 댐의 피해액 산정 및 수자원공사의 사업 타당성 검토를 위한 기초연구로 진행돼왔다.  
 선행연구는 <표 3>과 같다.

<표 3> 다차원홍수피해산정법의 선행연구

저자	내용	구분
이건행, 최승안, 김형수, 심명필 (2006)	도시지역의 홍수피해액 산정	배수펌프장의 내수배제 능력을 고려해 침수모의를 수행하여 침수 예상지역에 대한 침수심을 산정, 산업지역의 피해, 공공시설물의 피해를 등 도시지역의 피해액 산정을 위해 수정하여 적용함
이기하, 박경원, 유완식, 정관수, 장창래(2011)	홍수 피해액 산정에 관한 연구	태풍 '루사'에 의한 강원도 장현, 동막저수지 동시 붕괴에 따른 홍수범람 양상을 모의하고, 범람 모의결과를 다차원 홍수피해액 산정법 MD-FDA에 적용하여 댐 붕괴로 인한 대상 지역의 홍수피해액을 산정함
국토해양부, 한국수자원공사 (2008)	수자원사업의 타당성 분석 개선방안 연구	수자원 부분의 편익산정 방법에 관하여 논의함. 그중에서 다차원홍수피해산정법의 기본 개념과 원리를 정리함

## 2. 조건부가치추정법(CVM)

### 1) 추정 모형의 선택

본 연구에서는 마산항 재해방지 및 해양환경 개선사업의 비시장 가치를 추정하기 위해 양분선택형 질문법(dichotomous choice question; DC)에 의한 Hanemann(1984)의 효용차이모형을 이용하였다. 양분선택형 질문법(DC)에는 Bishop and Heberlein(1979)이 제시한 단일경계 양분선택형(single-bounded dichotomous choice; SBDC)과 Hanemann(1985)에 의해 제시된 이중경계 양분선택형(double-bounded dichotomous choice; DBDC)가 많이 쓰인다. SBDC의 경우 설문은 쉽지만 통계적 효율성이 낮아 많은 표본이 필요하다는 문제점이 있으며, DBDC의 경우 표본은 작지만 설문자에게 이중의 질문을 해야하는 점이 문제점으로 지적된다. 본 연구에서는 SBDC와 DBDC의 모형을 함께 추정하였으며, 두 모형의 결과를 통해 통계적으로 더 우수한 모형을 비시장가치 추정에 적용하였다. 이 경우 얻을 수 있는 4개의 결과는 예-예(YY), 아니오-아니오(NN), 예-아니오(YN), 아니오-예(NY) 이다. 각각의 확률을  $\pi^{yy}$ ,  $\pi^{nn}$ ,  $\pi^{yn}$ ,  $\pi^{ny}$  이라고 가정하였을 때 확률은 다음과 같다.

## 2) 이중경계 양분선택형(DBDC) 모형

DBDC의 모형에서는 두 번의 지불의사금액에 대해 피설문자의 응답을 통해 지불의사액(WTP)를 결정한다. 첫 번째 제시금액  $A_i$ 에 응답자가 '예'라고 대답한 경우의 두 번째 제시금액을  $A_i$ 보다 큰  $A_i^u$ 라 하고, '아니오'라고 응답한 경우의 두 번째 제시금액을  $A_i$ 보다 작은  $A_i^d$ 라고 가정한다.

$$\begin{aligned}\pi^{yy}(A_i, A_i^u) &= \Pr\{A_i \leq \text{최대 WTP and } A_i^u \leq \text{최대 WTP}\} \\ &= \Pr\{A_i \leq \text{최대 WTP} \mid A_i^u \leq \text{최대 WTP}\} \Pr\{A_i^u \leq \text{최대 WTP}\} \\ &= \Pr\{A_i^u \leq \text{최대 WTP}\} = 1 - G_C(A_i^u)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi^{nn}(A_i, A_i^d) &= \Pr\{A_i > \text{최대 WTP and } A_i^d > \text{최대 WTP}\} \\ &= \Pr\{A_i^d > \text{최대 WTP}\} = G_C(A_i^d)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi^{yn}(A_i, A_i^u) &= \Pr\{A_i \leq \text{최대 WTP} \leq A_i^u\} \\ &= G_C(A_i^u) - G_C(A_i)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi^{ny}(A_i, A_i^d) &= \Pr\{A_i^d \leq \text{최대 WTP} \leq A_i\} \\ &= G_C(A_i) - G_C(A_i^d)\end{aligned}$$

이때 각각의 확률을 이용한 로그우도함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\ln L &= \sum_{i=1}^N \{I_i^{yy} \ln \pi^{yy}(A_i, A_i^u) + I_i^{nn} \ln \pi^{nn}(A_i, A_i^d) \\ &\quad + I_i^{yn} \ln \pi^{yn}(A_i, A_i^u) + I_i^{ny} \ln \pi^{ny}(A_i, A_i^d)\} \\ &= \sum_{i=1}^N \{I_i^{yy} \ln [1 - G_C(A_i^u)] + I_i^{yn} \ln [G_C(A_i^u) - G_C(A_i)] \\ &\quad + I_i^{ny} \ln [G_C(A_i) - G_C(A_i^d)] + I_i^{nn} \ln [G_C(A_i^d)]\}\end{aligned}$$

$I_i^{YY} = \mathbf{1}$  ( $i$ 번째 응답자의 응답이 '예-예')이며,  $I_i^{YN} = \mathbf{1}$  ( $i$ 번째 응답자의 응답이 '예-아니오'),  $I_i^{NY} = \mathbf{1}$  ( $i$ 번째 응답자의 응답이 '아니오-예'),  $I_i^{NN} = \mathbf{1}$  ( $i$ 번째 응답자의 응답이 '아니오-아니오') 이고,  $\mathbf{1}(\cdot)$ 는 지시함수(indicator function)이다.

## IV. 다차원홍수피해산정기법(MD-FDA)과 조건부가치측정법(CVM)의 편익 추정 결과 비교

### 1. 다차원홍수피해산정기법(MD-FDA)을 활용한 편익추정

#### 1) 침수범위 지정 및 산정

침수범위 산정을 위한 폭풍해일고는 2010년 8월, 국토해양부에서 연구한 「해일피해 예측 정밀격자 수치모델 구축 및 설계해면 추산연구」에서 추산된 결과를 적용하였다. 폭풍해일고 추산 결과를 보면, 마산지역의 100년 빈도 해일고는 246cm로 천문조위를 더할 경우 404~443cm이며, 이를 태풍 ‘매미’ 내습 시 수위와 비교해 볼 때, 태풍 ‘매미’의 최대 해일고는 적용 폭풍해일고의 100년 빈도에 해당됨을 알 수 있다. 본 연구는 50년 빈도씩 총 200년도의 폭풍해일고를 적용 하였다. 또한, 기후변화에 따른 해수면상승 고의 영향을 반영하기 위해 「해수면 변동 정밀분석 및 예측(2차)」(국립해양조사원, 2010.11)에서의 해수면 상승량을 반영하였다.

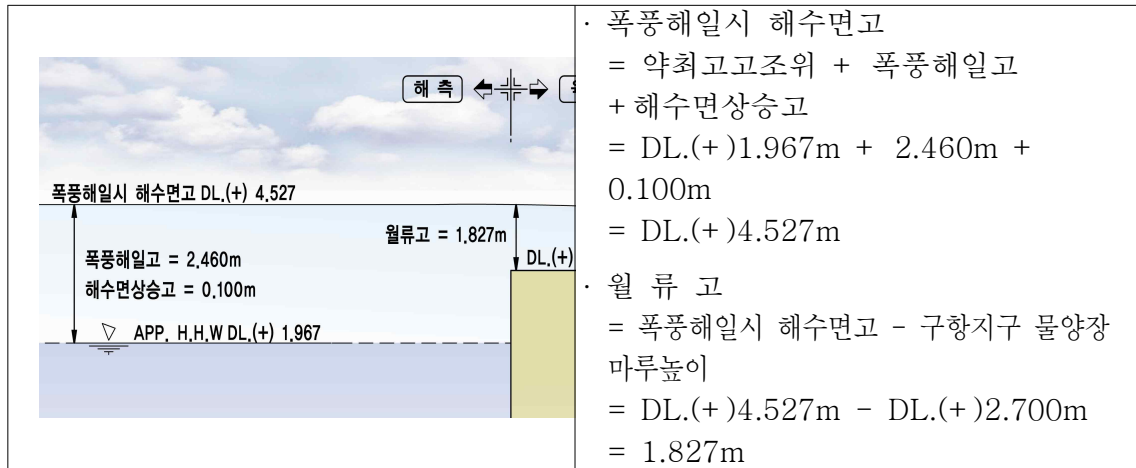
**<표 4> 마산항의 태풍 ‘매미’ 내습 시 해일고와 적용 폭풍해일고 비교**

구 분	태풍‘매미’시 현황		금회 적용 폭풍해일고	
	검조소 기록치	침수흔적 조사	50년 빈도	100년 빈도
최대 해수면고	432cm	410~440cm	403.7cm	442.7cm

자료 : 마산시, 2004. “태풍 ‘매미’에 의한 해일피해 원인조사 및 재해방지대책”.

조건부가치추정법과 다차원 홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교

<그림 4> 마산항의 폭풍해일 시 해수면고 및 월류고



자료 : 국토해양부, 「풍해일고(100년빈도) - 해일피해예측 정밀격자 수치모델 구축 및 설계해면 추산 연구」, 2011.

2) 다차원 홍수피해액 산정

가. 주거자산(건물자산)

폭풍해일에 따른 침수 예상도 산출은 한국해양조사원(2011)의 “해안침수예상도 제작 및 보급”에서 발표한 ‘빈도별 마산 해안침수예상도’를 활용하였으며, 산출방법론에 따른 피해액 산정 구성은 국토해양부(2008) 수자원사업 타당성 분석과 신승식(2013)의 “다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 이용한 기후변화 대비 항만 재난방재시설의 경제성 분석 방법”을 인용, 2012년 기준의 최신 통계자료로 갱신하였다.

<표 5> 예상 침수 면적에 따른 예상 침수 주택 및 침수 인원수

항 명	예상 침수 면적 (km <sup>2</sup> )	예상 침수가구				가구당 평균인원 (인/가구)	예상 이재민수 (인)
		주 택 (호수)	아파트 (동수)	기 타 (업체수)	소계		
마산항(50년빈도)	5.419	2,435	90	179	2,704	2.69	16,492
마산항(100년빈도)	6.592	2,831	113	188	3,132	2.69	19,348
마산항(150년빈도)	6.964	2,969	121	193	3,283	2.69	20,342
마산항(200년빈도)	7.336	3,107	129	199	3,435	2.69	21,337

자료 : 가구당 평균인원 산정은 창원시 2011년 통계 연보 자료를 인용함

<표 5-10>은 행정구역별 지역 특성을 반영하는 구체적인 자산 산정방법을 나타내고 있다. 지역 특성은 일차적으로 특정 지역이 보유한 주거 특성, 농업 특성, 산업 특성으로 대분류된다. 이러한 대분류 지역 특성들이 구체적으로 홍수 피해액 산정에 어떻게 반영되는지에 대해 아래와 같이 정리하였다. 이러한 지역 특성에 관한 정보는 통계청과 같은 공공기관의 데이터를 활용할 수 있다.

<표 6> 직접피해 대상 자산과 피해액 산정방법

자산	분류		자료	산정방법
주거 자산	건물	단독주택	① 건축형태별 건축연면적 주택수 ② 건축형태별 건축단가 ③ 아파트, 연립주택의 층수 ④ 읍면동별 건축형태별 주택수	해당 읍면동의 평균건물연면적에 건축단가를 곱해서 산정 (①x②x④,③은 고려사항)
		아파트		
연립주택				
	건물 내용물			① 가정용품 보급률 및 평균가격 ② 지역별 가정용품 평가액 ③ 읍면동별 세대수
농업 자산	농경지	전	① 매몰,유실에 의한 피해액 ② 읍면동별 전,답 면적	매몰 및 유실이 발생하였을 경우 피해액을 바로 산정(①x②)
		답		
	농작물	전	① 단위면적당 농작물평가단가 ② 읍면동별 전답 면적 ③ 읍면동별 경작작물의 종류	논면적, 밭면적에 시군구별 단위면적당 농작물평가단가를 곱하여 농작물자산을 산정(①x②, ③은 고려사항)
		답		
산업 자산	유형고정자산		① 산업분류별 1인종사자수당 사업체 유형고정자산,채고자산 ② 읍면동별 산업분류별 종사자수	산업 대분류마다 종업자수에 1인당 평가단가를 곱하고 사업소 유형고정자산, 채고자산을 산정(①x②)
	채고자산			

**조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교**

주거자산중에서 건물자산은 아래의 식과 같이 해당 ‘읍면동’의 건축연면적에 건축단가를 곱하여 산정한다. 건물대상을 주거건축물에 국한하여 가치를 산정하였기 때문에 사업소 건물이 평가되지 않아, 과소평가될 우려가 있으나 산업지역의 유형고정자산 항목에 사업체에 대한 건물부분이 포함되어 있다. 보다 자세한 자산산정을 위해서는 사업소 건물을 구체적으로 분리할 수 있는 방법이 요구된다.

건축형태별 단위면적당 건축단가는 한국감정원 건물신축단가표(2012)을 기준으로 <표 5-11>에 제시하였다. 행정구역별로 별도의 건축단가자료가 있을 경우 그 자료를 사용하여야 한다.

**<표 7> 건축 형태별 건축단가**

(단위 : 원/m<sup>2</sup>)

주택구조		주택형태	일반주택	고급주택	다세대 주택	다가구 주택	연립주택	아파트
목조	목조지붕	534,905	-	-	-	-	-	-
	한식지붕	612,940	-	-	-	-	-	-
시멘트 벽돌조	목조지붕	534,947	-	-	-	-	-	-
	슬래브(기와)	762,855	-	-	-	-	-	-
	슬래브지붕	661,616	-	-	-	651,050	-	-
	슬래브(형글)	-	-	555,560	-	-	-	-
블록조	목조지붕	467,585	-	-	-	-	-	-
	슬래브지붕	533,402	-	-	-	-	-	-
치장 벽돌조	목조지붕	633,258	-	-	-	-	-	-
	슬래브(기와)	733,612	1,123,153	-	-	638,142	-	-
	슬래브(형글)	-	-	-	548,743	-	-	-
철근 콘크리트조	슬래부(기와)	-	-	-	-	1,076,720	-	-
	슬래브지붕	-	-	-	-	-	-	629,544
	슬래브(형글)	836,658	-	680,893	538,793	-	-	635,717

<표 8> 창원시 연건평별 주택자료

구 분	계	20m <sup>2</sup> 이하	20~40m <sup>2</sup>	40~60m <sup>2</sup>	60~85m <sup>2</sup>	85~100m <sup>2</sup>	100m <sup>2</sup> 초과
합 계	286,769	430	16,082	88,271	107,083	14,487	60,416
단독주택	77,222	212	3,838	8,472	14,915	10,236	39,549
아파트	192,260	129	10,848	73,742	86,167	2,395	18,979
연립주택	9,779	4	694	4,556	2,950	808	767
다세대 주택	4,807	0	285	1,104	2,512	650	256
비거주용	2,701	85	417	397	539	398	865

조사 대상이 되는 창원시(마산항)의 연면적별 가구수는 창원시 통계연보(2010) 연건평별 주택자료를 인용하였으며, 평균연면적은 연면적 가구수 가중치를 고려하여 80m<sup>2</sup>를 적용하였으며 기준연도 건설업 디플레이터는 최신 건물신축단가표(한국감정원, 2012)를 기준으로 ‘건축단가’를 산정하여 기준연도 건설업 디플레이터 값은 반영치 않고 1을 적용하였다.

위의 결과를 이용하여 마산항 침수예상지역의 건물자산액은 다음과 같으며, 주택당 평균 가구수는 아래의 일반주택 건물자산액 산정을 이용하여 2.2가구로 산정하였으며, 침수예상지역의 주요 아파트 현황(26개)을 조사한 결과, 아파트 한 동당 층별 가구 수는 7.6가구로 산정되었다.

<표 9> 침수예상지역 건물자산액 (일반주택)

구 분	건축단가 (원/m <sup>2</sup> )	평균 연면적(m <sup>2</sup> )	주택수 (건물수)	주택당 평균가구수	Deflator	자산가치 (억원)
마산항 (50년빈도)	661,616	80	2,435	2.2	1	2,835
마산항 (100년빈도)	661,616	80	2,831	2.2	1	3,297
마산항 (150년빈도)	661,616	80	2,969	2.2	1	3,457
마산항 (200년빈도)	661,616	80	3,107	2.2	1	3,618

자료 : 연건평별 주택현황(창원시 통계연보, 2010), 시군별주민등록세대(통계청, 2011)



조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교

**<표 10> 침수예상지역 건물자산액(아파트)**

구 분	건축단가 (원/m <sup>2</sup> )	평균 연면적(m <sup>2</sup> )	주택수 (건물수)	주택당 평균가구 수	Deflator	자산가치 (억원)
마산항 (50년빈도)	629,544	80	90	7.6	1	344
마산항 (100년빈도)	629,544	80	113	7.6	1	433
마산항 (150년빈도)	629,544	80	121	7.6	1	463
마산항 (200년빈도)	629,544	80	129	7.6	1	494

자료: 인터넷 부동산 정보를 검색하여 주요 아파트 현황 분석

나. 주거자산(건물내용물 자산)

건물내용물 자산가치는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{건물 내용물 자산가치(원)} &= \text{가정용품평가액(원/세대수)} \\ &\quad \times \text{세대수} \\ &\quad \times \text{소비자물가지수} \end{aligned}$$

여기서, 가정용품평가액의 산정방법은 다음과 같다. 먼저, 국부통계조사보고서(1999)에 나와 있는 1997년 말 시도별 가재자산 중 순자산액에 대해 각 시도별 비율을 산정한다. 다음으로 가장 최근 자료인 2010년 내구소비재액에 대해 1997년 시도별 가재자산 비율을 고려하여 2010년 시도별 내구소비재액을 산출한다. 최종적으로 2010년 시도별 내구소비재액을 각 시도별 세대수로 나눔으로써 2010년 시도별 세대당 내구소비재액을 산출한다.

- 경상남도 가재산액 : 1만2090억 원
- 경상남도 총 세대수 : 126만8731 가구
- 세대당 가재산액 : 952만9207원
- 소비자물가지수 : 2011년 대비

<표 11> 연도별 소비자 물가지수

연도	소비자물가지수
2010	100.00
2011	104.00

자료 : 통계청 국가통계 포털사이트(<http://www.kosis.kr>)

<표 12> 침수예상지역 건물자산액 산정

구분	가정용품 평가액(원)	피해 가구수	소비자 물가지수	자산가치 (억원)
마산항(50년빈도)	9,529,207	6,041	104.0	599
마산항(100년빈도)	9,529,207	7,087	104.0	702
마산항(150년빈도)	9,529,207	7,451	104.0	738
마산항(200년빈도)	9,529,207	7,816	104.0	775

다. 산업자산

산업자산은 다음식과 같이 산업대분류별 종사자 1인당 유형고정자산과 재고자산을 대상지역의 해당년도 산업대분류별 종사자수에 곱하여 산정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{산업지역 자산가치(원)} &= \text{광역시도별·산업대분류별 유형자산 및 재고자산의 비율} \\
 &\times \text{해당년도 전국단위·전체산업의 유형고정자산 및 재고자산} \\
 &/ \text{해당년도 광역시도별·산업대분류별 종사자수} \\
 &\times \text{대상지역(읍면동) 산업대분류별 종사자수(인)} \\
 &\times \text{소비자물가지수}
 \end{aligned}$$

<표 13> 광역시도별·산업대분류별 종사자 1인당 유형 및 재고자산 (2010년)

구분	경상남도		비고
	유형자산	재고자산	
산업자산	190,137	25,460	(단위 : 천원)

자료 : 통계청, 2010, “국부통계 및 시도별 산업체 종사자수” 인용

조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교

**<표 14> 침수예상지역 산업자산액 산정**

구분		공장수	중사자수 (평균)	유형자산 (천원)	재고자산 (천원)	소비자 물가지수	자산가치 (억원)
마산항 (50년빈도)	제조업	108	17.5	190,137	25,460	104.0	4,238
	기 타	71	5.5	190,137	25,460	104.0	876
마산항 (100년빈도)	제조업	111	17.5	190,137	25,460	104.0	4,355
	기 타	77	5.5	190,137	25,460	104.0	950
마산항 (150년빈도)	제조업	111	17.5	190,137	25,460	104.0	4,355
	기 타	82	5.5	190,137	25,460	104.0	1,011
마산항 (200년빈도)	제조업	111	17.5	190,137	25,460	104.0	4,355
	기 타	88	5.5	190,137	25,460	104.0	1,085

라. 침수편입률 산정

침수편입률이란 행정구역 내에서 주거, 산업, 농업 등 지역특성요소의 총자산가치를 실제 침수된 부분에 대해 자산가치로 환산하기 위해 지역특성요소별로 지리요소<sup>3)</sup>인 공간객체들의 위치정보를 침수심별로 중첩하여 전체에 대한 비율로 나타낸 것이다. 재현기간별로 침수면적이 결정되면 지형에 따라 침수심이 다르기 때문에 침수심의 횡적 분포가 발생하게 된다. 또한, 향후 적용하게 되는 피해율 자료가 침수심별로 작성되어 있기 때문에 침수심별로 읍면동별 지역구분별(주거, 농업, 산업지역) 일반자산 침수율 산정이 필요하게 된다. 따라서 침수편입율은 재현기간별 침수면적에 따른 침수심분포별 읍면동별 자산별 침수율로 정의할 수 있다.

침수피해액 중에서 일반자산피해액은 대상지역에서 자산항목별로 조사된 자산액에 항목별 침수편입율과 침수피해율을 곱하여 산출한다. 그런데 침수피해율은 침수심에 따라 달라질 것이므로 침수편입율 또한 침수피해율의 침수심 구간과 동일해야 한다. 본 연구는 침수심 구간을 0m-0.5m, 0.5m-1.0m, 1.0m-2.0m, 2.0m-3.0m, 3.0m이상 등 5개로 분류하였다. 만일 기작성된 침수구역에 의해 분석해야 하고, 그 침수심 구간이 본 연구의 지침과 상이하다면 침수구역을 재추정하거나 침수피해율의 침수심 구간을 침수구역도에 맞게 적절히 보강해야 할 것이다

3) 지리요소(geographic feature)는 지리현상을 표현하는 하나의 객체를 말한다. 즉 토지피복도에서 지리요소는 각 분류항목(토지피복)을 가리킨다.

<표 15> 침수심별 건물 침수피해율

(단위 :%)

침수심	0m-0.5m	0.5m-1.0m	1.0m-2.0m	2.0m-3.0m	3.0m이상
단독주택	15	32	64	95	100
아파트	15/n1	32/n1	64/n1	95/n1	100/n1
연립주택	15/n2	32/n2	64/n2	95/n2	100/n2

<표 16> 침수심별 건물 피해율 (지하공간 시설물 고려)

(단위 : %)

침수심	0m-0.5m	0.5m-1.0m	1.0m-2.0m	2.0m-3.0m	3.0m이상
단독주택	14.5	32.6	50.8	92.8	100
아파트	14.5/n1+a	32.6/n1+a	50.8/n1+a	92.8/n1+a	100/n1+a
연립주택	14.5/n2 +100·b	32.6/n2 +100·b	50.8/n2 +100·b	92.8/n2 +100·b	100/n2 +100·b

<표 17> 마산항 건물피해액 산정 - 침수예상지역 건물피해액

구 분	건물자산 가치(억원)	침수 편입률	침수심 (m)	침수심별 침수피해율	건물피해액 (억원)
마산항(50년빈도)	3,179	1.0	0.94	0.32	1,017
마산항(100년빈도)	3,730	1.0	1.29	0.64	2,387
마산항(150년빈도)	3,920	1.0	1.458	0.64	2,509
마산항(200년빈도)	4,112	1.0	1.627	0.64	2,632

자료 : “해일피해예측 및 정밀격자 수치모델 구축 및 설계해면 추산연구”(국토해양부, 2010)를 통해 산정된 빈도별 해일고 성과를 인용하여 산정

건물내용물 피해액은 다음식과 같이 등지반고 지구별 건물내용물 자산액에 추정 침수심 등에 따르는 피해율을 곱해서 산출하는데, 주거형태와 무관하고 자산의 피해율이 모두 같다는 가정 하에 <표 5-20>의 건물내용물 피해율에 의하여 산정한다.

$$\text{건물내용물 피해액} = \text{건물내용물 자산가치(원)} \times \text{주거지역 침수편입률}$$

**조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교**

x 침수심별 건물내용물 침수피해율

**<표 18> 침수심별 건물내용물 피해율**

침수심	0m-0.5m	0.5m-1.0m	1.0m-2.0m	2.0m-3.0m	3.0m이상
단독주택	14.5	32.6	50.8	92.8	100
아파트	14.5/n1	32.6/n1	50.8/n1	92.8/n1	100/n1
연립주택	14.5/n2	32.6/n2	50.8/n2	92.8/n2	100/n2

**<표 19> 마산항 건물내용물 피해액 산정 - 침수예상지역 건물내용물 피해액**

구 분	건물자산 가치(억원)	침수 편입률	침수심 (m)	침수심별 침수피해율	건물피해액 (억원)
마산항(50년빈도)	599	1.0	0.94	0.326	195
마산항(100년빈도)	702	1.0	1.29	0.508	357
마산항(150년빈도)	738	1.0	1.46	0.508	375
마산항(200년빈도)	775	1.0	1.627	0.508	394

마. 산업피해

읍·면·동 단위 행정구역의 침수심에 따른 산업자산 피해율은 다음 표와 같이 유형 고정자산과 재고자산으로 구분한다. 따라서 산업피해액은 사업체 유형고정 자산 및 재고자산액에 침수심에 따른 침수피해율을 곱하여 아래의 식과 같이 산정 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{유형고정, 재고자산 피해액} &= \text{유형고정, 재고 자산가치(원)} \\ &\quad \times \text{산업지역 침수편입률} \\ &\quad \times \text{침수심별 유형고정, 재고자산 침수피해율} \end{aligned}$$

**<표 20> 침수심별 유형자산·재고자산 피해율**

(단위:%)

침수심 피해율	0m-0.5m	0.5m-1.0m	1.0m-2.0m	2.0m-3.0m	3.0m이상
유형자산	23.2	45.3	78.9	96.6	100
재고자산	12.8	26.7	58.6	89.7	100

자료 : 국토해양부 한국수자원공사. 2008. 수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구.

<표 21> 마산항 산업피해액 산정 - 침수예상지역 산업자산 피해액

구 분	유형자산 (천원)	재고자산 (천원)	침수 편입률	침수심	침수심별 침수피해율		산업 피해액 (억원)
					유형 자산	재고 자산	
마산항 (50년빈도)	450,951,726	60,383,991	1.0	0.76	0.453	0.267	2,204
마산항 (100년빈도)	467,858,708	62,647,894	1.0	0.99	0.453	0.267	2,287
마산항 (150년빈도)	473,296,626	63,376,050	1.0	1.175	0.789	0.586	4,106
마산항 (200년빈도)	479,822,128	64,249,838	1.0	1.360	0.789	0.586	4,162

바. 인명피해액 산정

인적피해는 홍수로 인한 사망·부상을 나타내는 인명피해와 침수로 인해 대피한 이재민피해로 나눌 수 있다. 인명피해의 경우, 과거 홍수피해 실적자료로부터 침수면적당 피해인명수를 도출한 후 별도로 측정된 인명가치를 곱하여 산정할 수 있으며, 이재민의 경우 해당지역 인구에 주거지역 침수편입률을 적용하여 이재민수를 구한 후, 평균 대피일수에 해당하는 국민소득을 적용하여 산정할 수 있다. 공공시설물 피해액은 자산으로부터의 직접적인 추계가 곤란하기 때문에 과거 홍수피해 실적자료와 일반자산피해액과의 관계로부터 산정할 수 있다.

<표 22> 사망자 1인당 순평균비용

(단위 : 천원/명)

구분	위자료	장례비	생산손실	의료비 및 기타	합계
금액비용					
금액	43,453	2,071	393,361	8,866	447,751
비율(%)	9.70	0.50	87.90	2.00	100.00

자료 : 도로교통안전관리공단 '09 도로교통사고비용의 추계와 평가

조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교

<표 23> 부상자 1인당 순평균비용

(단위 : 천원/명)

구분	의료비	휴업손해	생산손실	위자료	문명비용	기타	합계
금액비용							
금액	1,148	269	1,061	250	718	99	3,545
비율(%)	32.4	7.6	29.9	7.1	20.3	2.8	100.0

자료 : 도로교통안전관리공단 '09 도로교통사고비용의 추계와 평가'

<표 24> 사고유형별 심리적 비용 원단위

(단위 : 천원/명)

구분	사망	중상	경상	가중평균
심리적비용 원단위	116,070	33,700	1,360	1,360

자료 : 2009년 교통사고비용 추정(한국교통연구원, 2010)

침수면적당 손실 인명수는 <표 25>에서 단위 침수면적당 손실 인명수를 각각 사망과 부상으로 구분해 나타내었다. 침수면적은 대상지역 침수구역도에서 침수심의 구분 없이 총 침수면적을 산정하여 사용할 수 있다. 인명피해는 <표 26>과 <표 27>에 제시된 순평균비용의 합계를 각각 사망자수와 부상자수에 곱하여 산정하며 심리적비용 원단위는 <표 28>의 가중평균을 사망자수와 부상자수의 합인 전체 사상자수에 곱하여 산정하였다.

<표 25> 단위 침수면적당 손실 인명수

(단위 : 명/ha)

구분	대도시	중소도시	전원도시	농촌지역	산간지역
사망	0.004	0.004	0.001	0.002	0.002
부상	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002

자료 : 건설교통부(2001a). 치수사업 경제성분석 개선방안 연구

<표 26> 침수예상지역 인명피해액 산정

구분	침수 면적 (ha)	침수면적당 사망수 (명/ha)	사망 원단위 (천원/명)	침수면적당 부상수 (명/ha)	부상 원단위 (천원/명)	심리적 비용 (억원)	인명피해 액 (억원)
마산항 (50년빈도)	541.9	0.004	447,751	0.002	3,545	2.9	13
마산항 (100년빈도)	659.2	0.004	447,751	0.002	3,545	3.5	15
마산항 (150년빈도)	696.4	0.004	447,751	0.002	3,545	3.7	16
마산항 (200년빈도)	733.6	0.004	447,751	0.002	3,545	3.9	17

이재민 피해액 산정 시 기존의 다차원홍수피해산정법에서는 인명피해와 마찬가지로 최근 30년간의 자료를 바탕으로 침수면적당 발생 이재민 수를 제시하였다. 그러나 본 연구에서는 편익산정 대상지역의 침수 구역도를 활용하여 침수구역 거주자는 전부 이재민으로 가정하였다. 따라서 이재민 피해액 산정은 일반자산의 주거피해액과 같이 침수편입률을 이용하여 산정하는 다음 계산식을 제시하고자 한다.

$$\begin{aligned}
 \text{이재민 피해액} &= \text{침수심별 주거지역 침수편입률의 합계} \\
 &\times \text{행정구역인원(명)} \\
 &\times \text{대피일수(일)} \\
 &\times \text{일평균 국민소득(원/명·일)}
 \end{aligned}$$

여기서, 행정구역인원은 해당 지역의 시군통계연보를 이용한다. 대피일수는 최근 10년간의 재해연보를 참고하여 평균 10일로 산정하였으며, 일평균 국민소득은 2012년 현재의 국민소득을 365일로 나누어 7만2천원으로 산정하였다.



**조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교**

**<표 27> 침수예상지역 이재민 피해액 산정**

구분	침수구역 이재민수 (명)	대피일수 (일)	일평균 국민소득 (원/명·일)	이재민피해액 (억원)
마산항(50년빈도)	16,492	10	68,274	113
마산항(100년빈도)	19,348	10	68,274	132
마산항(150년빈도)	20,342	10	68,274	139
마산항(200년빈도)	21,337	10	68,274	146

공공시설물의 피해액 산정은 그 범위와 규모로 볼 때, 직접적인 방법으로는 산정이 거의 불가능하다. 따라서 일반자산피해액에 대한 공공 토목시설의 피해액 비율을 사용하는 것이 일반적이다. 아래 <표 5-30>는 일본에서 사용하는 공공시설물 피해액 비율을 나타내고 있다.

**<표 28> 일반자산피해액에 대한 공공시설물의 피해액 비율(일본)**

시설	도로	교량	하수도	도시 시설	공역	합계
피해율	0.616	0.037	0.004	0.002	0.086	0.745

자료 : 일본 건설성 하천국(2007)

따라서 모든 피해액산정에 합계 0.745를 사용하는 것은 아니지만 우리나라와 비슷한 사회 체계를 가지고 있는 일본이기 때문에 아래 <표 29>와 같이 간접 산정하였다.

**<표 29> 침수예상지역 공공시설물의 피해액 산정**

(단위 : 억원)

구분	일반자산 피해액			소 계	공공시설물
	건물	건물내용물	산업		
마산항(50년빈도)	1,017	195	2,204	3,416	2,545
마산항(100년빈도)	2,387	357	2,287	5,031	3,748
마산항(150년빈도)	2,509	375	4,106	6,990	5,208
마산항(200년빈도)	2,632	394	4,162	7,188	5,355

사. 대상 항만별 침수 피해액 산정 결과

지금까지의 피해액을 합산하면 <표 30>과 같다.

<표 30> 침수예상지역 침수 피해액 산정 결과

구분	일반자산 피해액			인명	이재민	공공 시설물	합계
	건물	건물내용물	산업				
마산항 (50년빈도)	1,017	195	2,204	13	113	2,545	6,087
마산항 (100년빈도)	2,387	357	2,287	15	132	3,748	8,926
마산항 (150년빈도)	2,509	375	4,106	16	139	5,208	12,353
마산항 (200년빈도)	2,632	394	4,162	17	146	5,355	12,706

아. 산정 결과

앞에서 작성한 연평균 피해경감 기대액을 기반으로 다차원법에 의해 대상 항만의 연평균 피해경감 기대액을 산정한 결과는 다음과 같다.

<표 31> 폭풍해일에 의한 마산항의 연평균 피해경감 기대액

발생빈도	연평균 초과확률	발생빈도별 피해경감액	구간평균 피해경감액	구간확률 (생기확률)	구간 연간 피해경감 액	피해경감액 누계(연간)
50년	0.02	7,848	3,924	0.0133	52.3	52.3
100년	0.01	10,687	9,268	0.01	92.7	145
150년	0.0067	14,114	12,401	0.0033	41.3	186.3
200년	0.005	14,467	14,291	0.0017	23.8	210.1

마산항에 가장 큰 피해를 끼친 폭풍해일은 100년 빈도의 폭풍해일이었으며, 그 다음으로는 50년 빈도의 폭풍해일이었다. 150년 빈도와 200년 빈도의 폭풍해일의 경우, 피해액이 크에도 불구하고 발생 확률이 낮아 연간 기대액은 상대적으로 낮은 수준이었다. 50년 빈도부터 200년 빈도까지 50년 간격으로 폭풍해일 피해액과 발생 확률을 적용한 피해 누계액은 연간 210.1억원인 것으로 나타났다.

조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교

## 2. 조건부가치추정법(CVM)을 활용한 편익 추정

### 1) 변수의 설명

마산항 내 환경개선사업의 비시장적 경제적 가치 추정을 위해 전국 7대도시에서 추출된 400개 표본을 대상으로 조건부 가치추정법(CVM)을 수행하였다.

**<표 32> 응답자 표본 현황**

항목	구분	표본수	비율	항목	구분	표본수	비율
성별	남성	180	51.40%	학력별	중졸	16	4.57%
	여성	170	48.60%		고졸	129	38.85%
연령별	20대	15	4.00%		대재 이상	202	57.71%
	30대	82	23.32		무응답	0	
	40대	126	36.2	월가구 소득별	100만원 미만	1	0.03%
	50~64세	127	36.28		150~200만원 미만	10	2.85%
지역별	서울	155	44.28%		150~200만원 미만	15	4.28%
	부산	54	18%		200~250만원 미만	35	10%
	대구	38	10.85%		250~300만원 미만	37	10.57%
	광주	23	6.50%		300~400만원 미만	90	25.71%
	인천	40	11.42		400~500만원 미만	68	19.42%
	대전	23	6.57		500~700만원 미만	70	20.00%
	울산	17	4.80%		700~1000만원 미만	12	3.43%
세대주 여부	세대주	194	55.42%		1000만원 이상	12	3.43%
결혼 여부	비세대주	156	44.58%	월개인 소득별	50만원미만	102	29.14%
	기혼	325	92.85%		50~100만원미만	5	1.42%
	미혼	25	7.15%		150~200만원미만	23	6.57%
직업별	공무원	30	8.57%		200~250만원미만	35	10%
	회사원	59	16.85%		250~300만원미만	50	14.28%
	자영업	100	28.57%		300~350만원미만	27	7.71%
	전문직	14	4.00%		350~400만원미만	49	14.00%
	주부	15	4.28%		400~450만원미만	21	6.00%
	농업	25	7.14%		450~500만원미만	17	4.85%
	기타	57	16.28%		500만원 이상	7	2.00%
학력별	초등졸	3	0.08%	무응답	14	4.00%	

## 2) 변수의 설명

마산항 내 재해방지시설의 비시장적, 경제적 가치 추정을 위하여, 설문과 동시에 응답자의 경제사회적 통계 즉, 나이(AGE), 성별(SEX), 결혼여부(MAR), 교육수준(EDU), 가계소득(INC) 등을 조사하였다. 성별(SEX)은 여자의 경우 0, 남자의 경우 1로 응답토록 하였으며, 평균치는 0.5143이었다. 이는 51.4%가 남자임을 의미한다. 연령 수준을 알기 위한 출생년도의 조사에서 응답자 분포는 만22세에서 만65세까지로 평균 45.8세였다. 응답자의 94.6%가 기혼(MAR)이었고 응답자의 평균 교육수준(EDU)은 13.9년(대학 2년)이었으며, 가구당 월평균 소득 수준(INCOME)은 390.8만원이었다. 표본의 기본 통계는 <표5-2>와 같다.

<표 33> 마산항 내 환경개선사업의 비시장적 가치의 추정을 위한 표본의 기본 통계

변수명	평균	표준편차	최소치	최대치
제시가격(BIDPRI)	7,000	4.005.7	1,000	13,000
성별(SEX)	0.5143	0.5005	0	1
나이(AGE)	45.7686	9.0839	22	65
결혼여부(MAR)	0.9457	0.2269	0	1
교육수준(EDU)	13.9771	2.3697	6	20
소득(INC)	390.7857	188.4882	80	1,100

본 연구에서는 재해방지시설의 편익추정을 위하여 Hanemann(1984)의 효용차이모형을 이용하여 응답자에게 제시가격(BIDPRI)을 부여하고, 각 응답자에게 마산항내 환경개선 사업을 위해 향후 5년간 기존 세급에 추가적으로 임의로 선정된 제시가격(BIDPRI)을 지불할 수 있는지 질의하였다. 제시가격은 1000원에서 1만3000원까지 2000원 단위로 7개 값 가운데 하나를 무작위로 제시하였으며, 여기서 제시된 가격은 설문의 작성 및 수정을 위한 예비조사를 통해 결정되었다. 각 제시 금액은 동수의 응답자들에게 배분되었는데, 대체적으로 제시금액이 커질수록 제시금액에 '예'라고 응답하는 비중이 줄어들었다. 첫 번째 질문에 '예'라고 응답한 사람들에게는 첫 번째 제시금액의 두 배에 해당하는 금액을 제시하였고, 첫 번째 질문에 '아니오'라고 응답한 사람들에게는 1/2에 해당하는 금액을 제시하는 이중경계 양분선택형 모형을 제시하였다.

**조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교**

**<표 34> 제시금액별 WTP 응답의 분포**

첫 번째 제시금액 (원)	예-예		예-아니오		아니오-예		아니오-아니오		합계	
	가구 수	비율 (%)	가구 수	비율 (%)	가구 수	비율 (%)	가구 수	비율 (%)	가구 수	비율 (%)
1,000	17	42.5	13	33.3	4	12.1	16	11.6	50	14.3
3,000	8	20.0	10	25.6	6	18.2	26	18.8	50	14.3
5,000	4	10.0	4	10.3	9	27.3	33	23.9	50	14.3
7,000	5	12.5	7	17.9	3	9.1	35	25.4	50	14.3
9,000	6	15.0	5	12.8	11	33.3	28	20.3	50	14.3
11,000	4	10.0	4	10.3	8	24.2	34	24.6	50	14.3
13,000	2	5.0	3	7.7	6	18.2	39	28.3	50	14.3
계	40	100.0	39	100.0	33	100.0	138	100.0	350	100.0

**3) 추정 결과**

모형의 정확성을 위해 공변량을 포함하지 않은 모형과 공변량을 포함한 모형으로 총 4개의 모형에 대해 각각 추정하였다. 공변량을 포함한 모형의 경우 앞에서 조사한 6개의 경제사회변수 가운데 응답자의 행동을 가장 잘 반영한다고 생각되는 나이(AGE), 성별(SEX), 교육수준(EDU), 가구소득(INCOME) 등 4개의 변수만을 반영하였다. 추정에 따르면, 마산항 내 환경개선시설의 수행에 대한 가구당 평균지불의사액(WTP)은 3351원이었으며 95%의 신뢰구간은 3198원~1만1333원이었다.

**<표 35> 마산항 환경개선사업의 가구별 지불의사액(WTP) 추정 결과**

구분	이중경계 양분선택형 모형(DBDC)	
	공변량이 없는 경우 (t-통계량)	공변량을 포함한 경우 (t-통계량)
평균WTP	3,351원 (5.5545)	3,843원 (1.5605)
95%신뢰구간	3,198원 ~ 11,333원	915원 ~ 10,489원

이렇게 추정된 연간 평균 WTP 추정치에 조사대상 지역의 가구수를 곱해주면 본 사업의 연간 총 편익에 대한 정보를 얻을 수 있는데, 2012년의 우리나라 총 가구수 자료는 다음과 같다.

<표 36> 우리나라 총 가구수(2012년 말 기준)

전국	2012년 기준 가구수
소계	17,950,675

자료 : 통계청([www.kosis.kr](http://www.kosis.kr))

#### 4) 모집단에 대한 편익 추정

가구별 지불의사액에 우리나라 총 가구수를 적용한 모집단의 연간 편익을 추정한 결과는 <표 37>과 같다.

<표 37> 모집단에 대한 연간 편익 추정 결과

구 분	가구수	평균 WTP 추정치 (원/가구/년)	연간 총편익(백만원)
전국	17,950,675	3,351.20	60,156.30

비합리적 응답을 제외한 모형에서 우리나라 전체 가구의 연간 평균 지불액은 6015억 원인 것으로 나타났다. 본 조사는 설문지에 지불기간을 5년으로 제시하였고, 할인율은 KDI 예비타당성조사 일반지침에 의거하여 5.5%를 적용하므로, 본 사업의 5년간 총 편익의 현재가치는 <표 38>과 같이 총 2568억 8483만원인 것으로 나타났다.

<표 38> 편익의 명목가치 및 현재가치

(단위 : 백만원)

연도	명목편익	편익의 현재가치
1차년도	61,156	57,020
2차년도	61,156	54,048
3차년도	61,156	51,230
4차년도	61,156	48,559
5차년도	61,156	46,028
총 편익	300,782	256,885

**조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한  
마산항 재해방지시설의 편익산정 비교**

### 3. 추정 결과의 비교

두 가지 방법론으로 비교한 항만재해방지시설의 편익은 다음과 같다.

**<표 39> CVM과 MD-FDA의 항만재해방지시설 편익 비교**

방법론	총 편익	30년 비용의 편익	비고
조건부가치추정법	601.5억원 (연간 총편익)	2568.9억원	설문지 지불기간 5년 및 현재가치를 30년간에 걸친 해당 연도의 값으로 배분
다차원홍수피해산정법	210.1억원 (50~200년 피해경감액 누계)	2959.6억원	

조건부가치추정법의 연간 총 편익은 601.5억 원으로 나타났으며, 설문지에 나온 사업의 세금에 대한 지불기간 5년과 KDI 예비타당성조사 일반지침에 의거한 30년간을 분석대상으로 하여 할인율 5.5%를 적용하면, 5년간 총 편익의 현재가치는 2568억8483만원으로 나타났다. 수자원개발사업 분야에서 홍수피해산정을 위해, 국토해양부가 개발한 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA)를 이용하여 마산항을 대상으로 항만 내 재해취약시설의 50년 빈도, 100년 빈도, 150년 빈도, 200년 빈도 홍수피해규모를 추정하고 피해액과 기대편익을 산정한 결과, 마산항의 경우, 폭풍해일에 의한 피해액이 50년 빈도 6087억 원, 100년 빈도 8926억 원, 150년 빈도 1만2353억 원, 200년 빈도 1만2706억 원으로 나타났다. 또한, 연평균 피해경감기대액산출법에 의해 재해방재시설 설치 시 연간 편익을 산출한 결과, 연평균 2101억 원의 기대편익이 발생하는 것으로 분석되었고, 이를 30년간의 분석대상으로 하여 편익의 현재가치를 값으로 배분한 결과, 2959억 6000만원으로 나타났다.

## VI. 결론 및 향후 연구방향

다차원 홍수피해산정기법은 직접적 피해액만을 산출한다는 점에서 한계가 있다고 볼 수 있다. 직접적 자료 활용이 어려운 사람들의 심적 고통과 복구 시까지의 잠재적 비용, 홍수로 인한 기타 부정적 건강효과 유발 등 제반 비시장가치의 적용을 배제하고 있다는 점이다. 또한 침수심과 소요 피해액에 대한 정확한 정보의 적용이 경제성 분석에 있어 매우 민감하게 반응할 수도 있다는 점이다. 일반적으로 조건부가치추정법은 비시장재화의 사업에 대한 편익을 추정하기 위한 방법으로 많이 이용되고 있으며, 아울러 신빙성 있는 방법론으로 받아들여지고 있었다. 앞으로 홍수피해에 대한 항만 재해방지 시설 사업에 대한 편익추정에 있어, 주로 댐이나 하천에 대한 홍수 피해액을 산정했던 다차원홍수피해산정법(MD-FDA)이 조건부가치추정법의 새로운 대안이 될 수 있는지 알기 위해 두가지 방법을 비교 연구하였다. 그리하여 항만 내 재해취약시설의 피해액을 산정하는데 있어, 조건부가치추정법과 다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 적용한 결과 30년 빈도의 편익 금액 차이는 조건부가치추정법 2조5689억 원, 다차원홍수피해산정법 2조9596억 원으로 약 3907억 원 정도의 소폭차이를 보였다. 하지만 본 연구는 연구의 방향성과 편익액에 대한 비교 측면에서만 진행되었고, 단순히 피해 추정액이 크지 않다고 해서, 홍수피해액 산정에 있어 다차원홍수피해산정법이 조건부가치추정법을 대신할 수 있다고 단정하기에는 위험이 따르므로, 추후 경제성 분석 및 심층 검증을 통하여 알아볼 필요가 있을 것이다.



## 참고문헌

- 신승식, 이동현, “조건부가치추정법을 이용한 무인잠수정 개발에 대한 경제적 가치 추정”, 『해양정책연구 제25권 2호』, 2011.
- 도로교통안전관리공단, 『도로교통사고비용의 추계와 평가』, 제9호, 2011.
- 심재설 외 3명, 『폭풍해일에 따른 연안재해 대응 방안』, 2011.
- 문승록 외 3명, 『폭풍해일에 의한 해안침수예상도 작성 시나리오 연구』, 2007.
- 박정재, “해수면 상승 및 해일로 인한 자연재해와 대응 방안”, 『국토지리학회지』, 제43권 제3호, 2009.
- 신승식, “다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 이용한 기후변화 대비 항만 재난방재시설의 경제성 분석 방법”, 『해양정책연구』, 제27권 제2호, 2013.
- 정보통신정책연구원, 『자연재난과 방재시스템』, 2005.
- 국토해양부 한국수자원공사, 『수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구』, 2008.
- 해양수산부, 『해양관광자원의 사회적 가치추정에 관한 연구』, 2001.
- 마산시, 『태풍 ‘매미’에 의한 해일피해 원인조사 및 재해방지대책』, 2004.
- 최승안 외 3명, 『다차원 홍수피해산정방법(I): 원리 및 절차』, 2006.
- 최승안 외 3명, 『다차원 홍수피해산정방법(II): 적용』, 2006.
- 강기래, “환경재의 가치평가 적용을 위한 자연휴양림 보전가치 추정방법비교”, 『경북대학교 석사학위 논문』, 2011.
- 소애림, “피해합수접근법을 이용한 주요운송수단의 사회적 비용 산정”, 『전남대학교 석사학위 논문』, 2012.
- 신승식, “환경재의 가치추정 방법 및 CVM과 Hedonic의 통신산업 외부성 추정 적용에 관한 3논문”, 『고려대 대학원 박사학위 논문』, 1998.
- 박광서, “조건부 가치추정법(CVM)을 활용한 축제의 경제적 가치평가”, 『경희대학교 석사학위 논문』, 2003.
- 이현정, “모의실험을 통한 조건부가치추정법의 신뢰성에 관한 연구”, 『고려대학교 정책대학원 석사학위 논문』, 2010.
- 이미영, “조건부가치추정법을 이용한 환경공생 항만시설의 경제가치평가”, 『관동대학교 석사학위 논문』, 2010.
- 김근영, “MD-FDA를 이용하여 울주군 지방2급하천 적용에 관한 연구”, 『울산대학교 석사학위 논문』, 2007.
- 이건행, “다차원 홍수피해산정방법을 이용한 도시지역의 홍수피해액 산정”, 『인하대학교 석사학위 논문』, 2006.
- 소재철, “조건부가치추정법을 이용한 환경개발에 따른 편익평가”, 『원광대학교 박사학위 논문』, 2011.

문』, 2004.

이정수, “주거단지 지불의사금액 산정에 대한 비교분석 : U-Eco 주거단지를 중심으로”, 『한양대학교 석사학위 논문』, 2008.

R. Cameron Mitchell, 『Using surveys to value public goods: the contingent valuation method』, 1989.

B.E. Baarsma, 『Monetary Valuation of Environmental Goods: Alternatives to Contingent Valuation』, 2000.

Bateman, I., Carson, R., Day, B., Hanemann, M., Hanley, N., T. Hett, T., et al. , “Economic valuation with stated preference techniques: A manual” 『*Department for Transport*』, 2002.

Dr. P. Wattage, “literature review contingent valuation method”, 2002.

## 국문 요약

# 조건부가치추정법과 다차원홍수피해산정법을 이용한 마산항 재해방지시설의 편익산정

서인호·신승식

지구 온난화 현상 이후, 지구환경 변화에 따른 자연 재해는 세계적 규모의 대형 참사로 이어지고 있다. 그중에서도 특히 폭풍해일에 따른 피해가 크게 늘고 있으며, 이에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 우리나라도 예외가 아니어서, 2003년 태풍 ‘매미’ 등이 한반도에 상륙하면서 그로 인한 폭풍해일과 침수 피해로 큰 타격을 입었는데, 특히 마산 지역의 침수는 그 피해 정도와 범위가 가장 막대했다. 이에 따라 국내에서도 향후 폭풍해일 발생에 대한 철저한 대비책 마련의 필요성이 제기되었다. 이에 본 연구는 항만 재해방지시설 건설 시 편익액 산정에 사용되는 대표적인 두 가지 방법론, 즉 비시장 재화의 가치를 추정하는 조건부가치추정법(CVM)과 홍수나 댐 등의 사업에서 주로 이루어져왔던 다차원 홍수피해산정기법(MD-FDA)을 이용하여 마산항 폭풍해일 발생 시 피해액의 편익을 산정, 비교하고자 하였다. 이에 30년 비용의 편익액을 추정한 결과, 조건부가치추정법(CVM)은 2조5689억 원, 다차원홍수피해산정방법(MD-FDA)은 2조9596억 원으로 나타나 재해방지시설의 편익액 차이는 크지 않았다. 하지만 이를 토대로 재해방지시설에 대한 편익 산정에 있어 다차원홍수피해산정방법(MD-FDA)이 이미 비시장 재화를 대상으로 검증받은 방법인 조건부가치추정법(CVM)을 대신할 수 있는 방법인지는 추후 심층검증을 통하여 알아볼 필요성이 있을 것으로 판단된다.

**핵심 주제어 :** 조건부가치추정법, 다차원홍수피해산정법, 마산항, 폭풍해일, 재난방재