

충주댐 저수지의 파랑특성 분석에 의한 수위변동 감소 대책

○박노혁* · 양재련* · 윤재홍** · 조용식***

1. 서 론

현재 다목적 댐에서의 유입량 산정방법은 댐에서의 방류량과 저수지 수위 차로 산정되는 저류량에 의하여 산정되고 있다. 그러나 저류량에 대한 저수지수위의 측정오차의 민감도가 너무 커서 정확한 저수지 유입량을 산정하지 못하고 있으며, 때로는 음 유입량으로 산정 되고있어 수문정보의 이용 및 저수지 운영에 애로를 겪고 있는 실정이다. 특히 현재와 같이 댐운영관리를 위한 정보가 실시간으로 자동처리가 되는 상황에서 입력된 정보로부터 처리된 각종 수문량이 직접 사용자들에게 제공되고 있어 그 영향을 간과할 수 없는 실정이다. 저수지의 실제 수위측정치에 영향을 주는 사항은 (1) 저수지 수면의 변동 (풍파, 충격파, Seiche 등)에 의한 측정치의 변동 (2) 접근유속의 발생으로 국부적인 수면 저하 (3) 홍수유입에 의한 저수지 전체의 수면구배 발생 (4) 수위계의 구조상 수위의 급변화에 대한 부적절한 응답 및 수위계의 고장에 의한 부정확 이다 (日本土木研究所, 1973).

이 가운데 (2)의 수면저하 문제는 취수·방수시설 부근을 피해서 관측정을 설치하면 해결할 수 있으며, (4)는 관측 시설물의 구조적 및 기기적인 문제로서 관측정의 시설개선과 철저한 유지관리를 통하여 해결이 가능하다. (3)은 저수지 수심이 비교적 얕으며 저수지의 길이가 긴 저수지에서는 홍수 유입시에 저수지 전체에 수면구배가 발생하기 때문에 댐 지점의 수위측정치 만으로는 저류량 및 유입량의 정확한 값이 산정되지 않는다. 이 경우에는 저수지 형상에 따라서 여러 지점에서 수위를 관측함으로써 해결할 수 있으며, 저수용량이 그다지 크지 않은 경우 그 가정조건이 엄밀한 의미로는 적용할 수 없지만 유입량이 큰 경우도 있기 때문에 실제상의 영향은 크지 않다. (1)의 현상은 오래 전부터 인식되어왔던 사항으로서 수동처리작업을 행하는 경우에는 육안판단으로 처리할 수 있지만 실시간으로 자동처리를 행하는 경우에는 직접적인 영향이 있기 때문에 실제로는 처리시 어려움이 있다.

본 연구는 수위변동에 커다란 영향을 미치는 요인인 저수지의 파랑에 대한 생성 원인, 주기 및 파고의 특성을 분석함으로써 수위관측에 미치는 파랑의 영향을 최소화 할 수 있는 방안을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 파랑생성 원인 및 파랑 분석

2.1 일반적 저수지의 파랑생성 원인

일반적으로 파랑의 주요 생성요인으로는 기압과 바람과 같은 기상의 변화와 지구의 자전 등이

* 한국수자원공사 수자원연구소 연구원

** 한국수자원공사 수자원연구소 책임연구원

*** 한양대학교 토목공학과 교수

다. 호수나 저수지와 같이 유체의 움직임이 비교적 적은 밀폐된 지역에서의 관측되는 파랑은 주로 바람에 의한 풍파 (Wind wave)이며, 일반적으로 주기가 짧고 파고가 작은 것이 특징이다. 드물게 관측되기는 하지만 seiche가 발생하기도 한다. Seiche는 장파의 일종으로 주기와 파장이 매우 긴 것이 특징으로 호수와 같이 고립된 수체 (Water body) 등에서 수면에 작용하는 전단응력이나, 호수위를 통과하는 저기압에 의해서 발생하여 호수 연안 근처에서 범람을 일으키기도 한다 (Ligget, 1995). 파랑은 또한 선박과 같은 움직이는 물체에 의해 생성되기도 하며, 선박에 의해 발생하는 파랑을 Ship wave라 한다. 그림 1은 자연계에 존재하는 다양한 파랑의 종류를 크기에 따라 분류한 것으로 주기가 수 시간대인 조석 (Tide) 뿐만 아니라 주기가 수 초 내외인 풍파에 이르는 다양한 형태의 파랑을 보여주고 있다.

2.2 파랑의 측정

파랑특성을 분석하고자 충주댐 본체에서 직상류 850 m 지점에서 음파식 수위계를 이용하여 1999. 9. 6 09:55 - 1999. 9. 7 09:51 기간 동안 2 초 간격으로 저수지 수위를 관측하였다. 그림 2 ~ 그림 6은 계측된 수위의 시간에 대한 변화를 도시한 것으로서 그림에 나타난 것과 같이 그림 2, 그림 3 및 그림 4의 수위는 매우 빠르게 변화하는 반면에 그림 4의 후반부부터 그림 5와 그림 6에 이르러서는 다소 완만하게 변화하고 있음을 알 수 있다. 파랑의 주기를 산정하기 위해서는 관측된 수위자료가 어느 기준이 되는 수평선에 대하여 어느 정도 교차하여야 하는데 그림 2부터 그림 6은 전체적으로 수위가 완만하게 상승하고 있어 주기를 산정하는 것이 불가능하다. 즉, 그림 2 - 그림 6은 충주호의 수위 상승 또는 하강을 포함하고 있어 이를 제외한 자료를 이용해야 한다.

2.3 저수지 파랑 특성분석

그림 2 - 그림 6에 사용된 자료는 모두 충주댐 우안 직상류 850m 지점에서 관측한 자료로서 관측자료는 바람에 의한 영향을 받았을 것으로 추정되며, 선박에 의한 파랑에 의해 영향을 받지 않은 것으로 나타났다. 표 1은 '99년 9월 6일 ~ 7일 사이에 충주댐에서의 선박운항 자료이며, 표에 나타난 것과 같이 충주호 관광선은 9월 6일 12시 30분부터 17시 35분, 9월 7일 10시 30분부터 18시 35분까지 운항하였으며, 충주 수난 구조대 선박은 9월 6일 13시 20분부터 18시 30분까지 운항한 것으로 기록되어 있다. 따라서, 그림 2에 나타난 변동은 9시 55분부터이므로 선박의 의해 발생한 것으로 볼 수 없다. 더욱이, 충주댐 지점에서의 수위관측에 영향을 주는 선박은 행정선이며, 월악지점에서의 수위관측에 영향을 주는 것은 충주호 선착장에서 월악 나루터를 운항하는 유람선이다 (한국수자원공사, 1998). 그러므로, 그림 2 - 그림 4의 변동부분은 선박에 의한 것이 아니고 바람에 의한 것으로 판단된다. 그러나, 보다 정확한 원인을 규명하기 위해서는 9월 6일과 9월 7일의 충주댐 부근의 시간에 따른 바람의 방향과 크기를 조사하여 비교하는 것이 바람직하다.

3. 파랑의 주기 및 파고 산정

3.1 파랑의 주기 산정

파랑의 주기를 산정하는 방법에는 크게 영점상향교차법 (Zero-up cross method)과 영점하향교

차법 (Zero-down cross method)이 있다 (Goda, 1985). 여기에서는 영점상향교차법의 개념을 사용하여 주기를 계산하였다. 불규칙 파랑 (Irregular wave)에 대해서 파랑의 주기는 일반적으로 최대파 주기 (T_{max}), 1/10 최대파 주기 ($T_{1/10}$), 유의파 주기($T_{1/3}$, Significant wave period), 평균파 주기(\overline{T})로 정의한다 (Goda, 1985). 이와 같은 파랑의 주기에 관한 여러 정의중에서 실무에서 가장 많이 사용되는 것은 유의파 주기, 즉 $T_{1/3}$ 이며, 정의한 여러 주기를 큰 순서대로 열거하면 T_{max} , $T_{1/10}$, $T_{1/3}$, \overline{T} 순이다. 충주댐 관측자료의 주기 분석에 있어서, 파랑의 형태가 툽니 모양의 불규칙파 형상을 나타내므로 구간의 평균값을 연결한 새로운 선을 만들어 영점상향교차법의 개념을 이용하여 주기 분석을 하였다. 툽니 모양으로 반복되는 파랑의 자료를 각각 인근점에서의 평균값을 이용하여 툽니형태의 중간값을 계산해 낸 후 그 때 파랑의 주기를 계산하였다.

표 2에 나타난 것과 같이 유의파 주기를 기준으로 파랑의 주기는 그림 7 (9월 6일 9시 55분 시작)에서 27.97분, 그림 8 (9월 6일 15시 2분 시작)에서 27.22분, 그림 9 (9월 6일 19시 40분 시작)에서 37.15분, 그림 10 (9월 7일 0시 38분 시작)에 30.21분, 그림 11 (9월 7일 5시 49분 시작)에서 28.59분이다. 9월 6일 21시부터 9월 7일 5시까지의 발전을 하지 않은 것으로 되어 있다. 따라서, 그림 10과 11은 발전의 영향을 받지 않은 기록이다. 그림 10과 11의 주기와 나머지 그림들의 주기들을 비교하면 발전을 할 경우의 주기는 발전을 하지 않을 경우와 비교하여 좀 더 큰 것을 알 수 있다.

3.2 파랑의 파고 산정

그림 12에서 볼 수 있듯이 파고의 산정에 있어서 두 가지의 방법을 이용할 수 있다. 방법 1은 한 주기 내에서 발생할 수 있는 가장 극한의 파고를 나타내고 있으며, 방법 2는 한 주기 내에서 발생할 수 있는 평균 파고 값을 의미한다. 방법 1에 의한 산정된 파고는 방법 2에 의한 파고에 비해 매우 큰 값을 가질 것으로 예상할 수 있다. 여기에서는 방법 2를 이용하여 표 3과 같이 파고를 산정하였다. 방법 1과 방법 2는 모두 영점상향교차법을 이용하여 파고를 산정한다. 즉, 수면의 평균수위를 수면 기록으로부터 추정하여 영점선으로 정의하며, 다음에 파형이 파곡으로부터 파봉을 향하여 상승할 때 영점선을 통과하는 점을 표시하고 여기를 하나의 파의 시작점으로 정한다. 이때 파형이 불규칙하게 진동하면서 영점선의 아래로 내려갔다다 다시 상승할 때 영점선을 통과하는 곳에도 표시를 하여 놓으면 하나의 파가 끝나는 점이 되고 동시에 다음의 파의 시작점이 되는 것이다. 좌표축이 시간이면 2개의 연속하는 통과점의 간격이 주기가 되며, 두 개의 인접한 영점상향교차점 사이의 최고점과 최저점 사이의 연직거리를 파고라고 정의하고, 도중에 작은 요동의 파랑이 있어도 이것이 영점선을 통과하지 않으면 무시한다. 불규칙 파랑에 대해서는 일반적으로 주기와 동일하게 최대파고 (H_{max}), 1/10 최대파 파고 ($H_{1/10}$), 유의파 파고 ($H_{1/3}$, Significant wave height), 평균파 파고 (\overline{H})로 정의한다. 파고를 구하고자 하는 파랑 집단에서 전체 파랑의 파고를 평균한 값을 의미한다.

원래의 영점상향조정법에서는 파고를 기준으로 파고의 크기가 전체의 1/10번째까지의 파고 크기의 평균값이 1/10 최대파고이며, 이때 각각의 파고에 해당하는 주기의 값의 평균이 1/10 최대주기이나, 이번 파고 산정에서는 주기와 파고는 상관관계가 없다고 판단되어 각각 따로 계산하였다. 표 3에 따르면 유의파 파고는 그림 7에서는 약 2.45 cm, 그림 8에서는 2.04 cm, 그림 9에서는 1.30 cm, 그림 10에서는 0.67 cm이며, 그림 11에서는 0.82 cm임을 알 수 있다. 따라서, 발전을 하

지 않은 기간동안, 즉 9월 6일 21시부터 9월 7일 5시까지 (그림 9와 10)의 파고가 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 따라서, 발전에 의하여 파고가 다소 커지는 것으로 나타났다. 현재의 자료로는 정확한 분석은 어렵지만 발전하는 동안 물의 움직임에 의한 파고 상승이 가능할 것으로 추정된다.

4. 분석결과 및 대책

4.1 관측된 파랑의 주기와 파고 분석

발전에 의해 영향을 받지 않았을 경우 주기는 그림 9와 10으로부터 약 30 분-38 분이며, 파고는 약 0.67 cm-1.30 cm임을 알 수 있다. 이와 같은 장주기 파랑은 일반적으로 자연에서 관측되는 파랑은 아니다. 그림 9를참고로 하여 이와 같은 주기를 갖는 파랑을 추정하면 Seiche일 가능성이 있으나, Seiche로 단정하기에는 파고가 너무 작다. 따라서, 기록된 파랑은 바람의 영향, 수위측정 장비의 배치와 구조, 정보처리방법 및 자료샘플링 (Sampling) 등과 같은 여러 형태의 외부 영향을 받아 장주기파의 형태로 관측된 것으로 추정된다. 지형특성과 파랑특성간의 관계를 분석해 보면 수심을 제외한 지형에 따른 파랑의 특성은 특이한 것은 없다. 일반적으로 파랑은 진행과정에서 수심에 의한 영향을 가장 민감하게 받으면서 회절 (Diffraction), 굴절 (Refraction), 반사 (Reflection) 및 쇄파 등과 같은 다양한 물리적 현상이 일어난다. 그러나, 그림 2 - 6과 그림 7 - 11에 나타난 수위자료는 이와 같은 물리적 현상과는 관계가 없으며, 지형적 영향으로 인한 바람의 강도와 방향의 변화가 수위의 변동을 초래할 수 있다.

4.2 대책

파랑의 특성분석 결과를 토대로 파랑에 의한 저수지의 수위변화가 수위관측에 미치는 영향을 최소화하기 위한 대책을 다음과 같이 제시하고자 한다.

- (1) 주기가 1분 이하인 수위 변동이 남아있는 경우에는 측정치의 시계열평균화 또는 복수의 수위계를 이용한 값의 평균화처리를 하는 것이 유효할 것이다.
- (2) 분석된 바와 같이 유의파 주기가 수분-30분 정도이고, 유의파 파고가 0.5-2.5 cm정도로 관측된 파랑의 영향을 제거하는 방법은 이 주기에 맞추어서 측정치를 평균화하는 것으로서 저수량의 증감변화가 작은 평·갈수시에 이용하는 것이 바람직하다 (홍수시는 저류량변화가 커서 처리된 값의 시간차 유발).
- (3) 적절한 Sampling 취득 시간간격과 수문정보량의 취급을 통하여 그 영향을 가능한 한 적어지도록 고려하는 것이 필요하다.
- (4) 수위계의 설치 위치를 저수지 수면에 부는 바람의 강도가 강한 곳, 풍파가 일어나기 쉬운 곳 및 취수·방수설비 부근 등을 피하고, 수위관측시설을 개선하여 수위계 외수면의 진동파를 제거하도록 적절한 정수정과 도수관을 설치한다.
- (5) 수문방류, 발전방류, 취수 등의 개폐조작에서 통과유량이 큰 경우 저수지 수위가 일시적으로 진동하는 경우에는 관측된 수위를 처리하는 방법보다는 취·방수량의 변화속도를 작게 하든가 일회 동작량을 작게 하여 그 영향을 감소시키는 방법이 효과적이므로 각종 취·방류시설의 조작운영 지침에 반영한다.

5. 참고문헌

한국수자원공사, 저수지 및 하구둑의 유입량과 방류량 산정방법 개선, 수자원연구소보고서, WRII-WR-98-3, 1998b.

Goda, Y., Random Seas and Design of Maritime Structures, pp. 323, University of Tokyo Press, 1985.

Liggett, J. A., Fluid Mechanics, McGraw-Hill Inc., New York, USA., 1995

日本土木研究所, 多目的 ダムの管理に関する研究より, 第27回建設省 技術研究発表會, 1973.

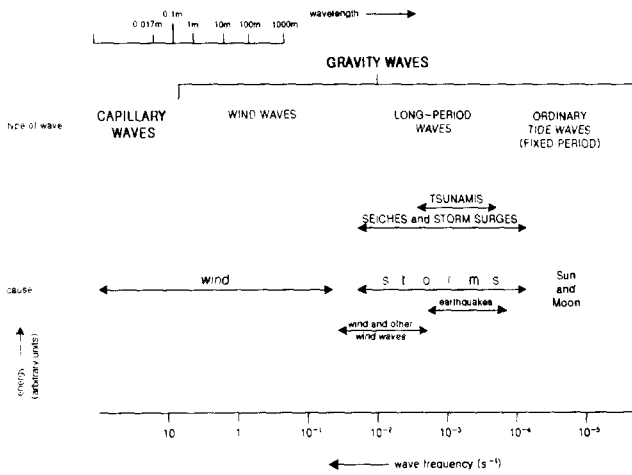


그림 1. 자연계에 존재하는 다양한 형태의 파랑

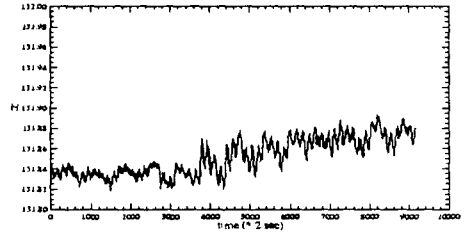


그림 2. 수위 관측기록 ('99. 9. 6. 09:55-14:59)

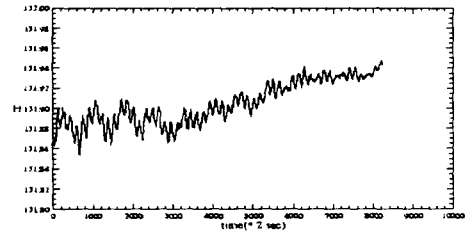


그림 3. 수위관측기록 ('99. 9. 6. 15:02-19:35)

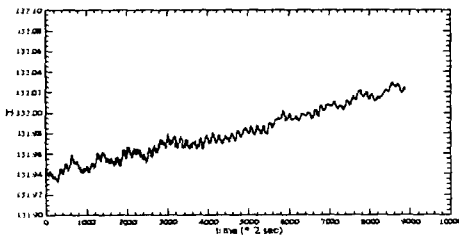


그림 4. 수위 관측기록('99.9.6. 19:40-9.7 00:35)

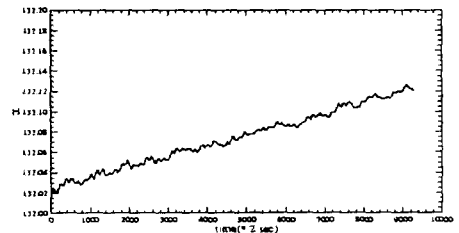


그림 5. 수위 관측기록 ('99. 9. 7. 00:38-05:46)

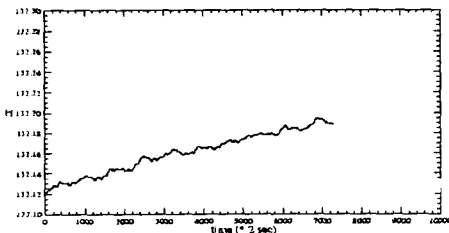


그림 6. 수위 관측기록 ('99. 9. 7. 05:49-09:51)

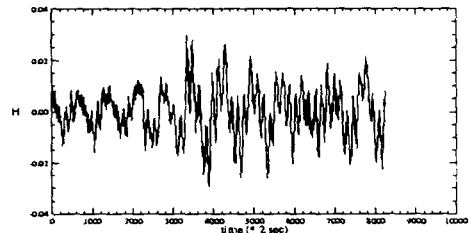


그림 7. 산정된 파고 ('99.9.6. 09:55-14:59)

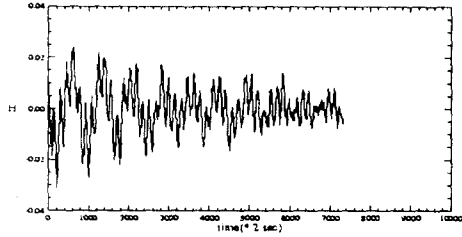


그림 8. 산정된 파고 ('99. 9. 6. 15:02-19:35)

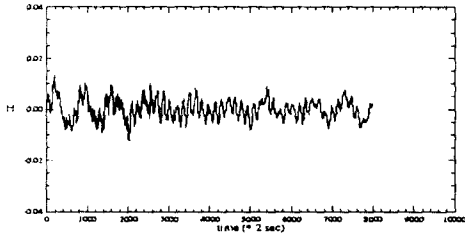


그림 9. 산정된 파고 ('99.9.6. 19:40-9.7.00:35)

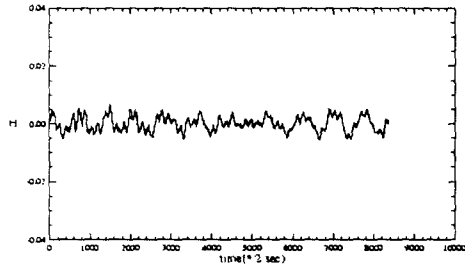


그림 10. 산정된 파고 ('99.9.7. 00:38-05:46)

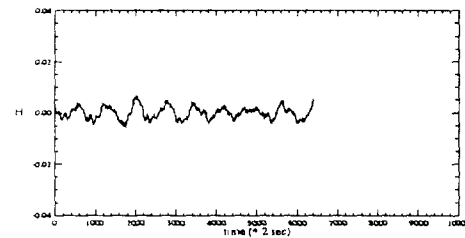


그림 11. 산정된 파고('99.9.7. 05:49-09:51)

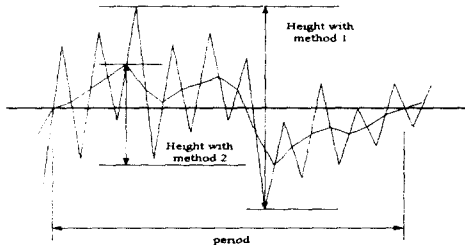


그림 12. 영점상향교차법에 의한 파고 산정

표 1. 충주호 선박운항현황(9월 6일-7일, 1999년)

구 분	날 짜	출항	입항
충주호 관광선 선착장	9월 6일	12:30	16:10
	9월 7일	16:35	17:35
		10:30	16:30
		13:00	17:00
	15:30	17:10	
	17:30	18:35	
충주댐 선착장	-	-	-
충주 수난 구조대	9월 6일	13:20	18:30

표 2. 충주호에서의 파랑의 주기 산정

구 분	그림 7		그림 8		그림 9		그림 10		그림 11	
	sec	min	sec	min	sec	min	sec	min	sec	min
1	1700.00	28.33	1843.51	30.73	2283.97	38.07	1907.63	31.79	1795.42	29.92
2	1687.02	28.12	1534.35	25.57	2174.05	36.23	1829.77	30.50	1635.11	27.25
3	1648.09	27.47	1522.90	25.38	1917.56	31.96	1700.00	28.33	1538.93	25.65
4	1583.21	26.39	1511.45	25.19	1734.35	28.91	1609.16	26.82	1528.24	25.47
5	1557.25	25.95	1465.65	24.43	1673.28	27.89	1531.30	25.52	1474.81	24.58
6	1453.44	24.22	1408.40	23.47	1624.43	27.07	1453.44	24.22	1367.94	22.80
7	1427.48	23.79	1339.69	22.33	1612.21	26.87	1440.46	24.01	1293.13	21.55
8	1323.66	22.06	1236.64	20.61	1392.37	23.21	1323.66	22.06	1239.69	20.66
9	1310.69	21.84	1213.74	20.23			1310.69	21.84		
10	1284.73	21.41								
sum	14975.5	249.5	13076.3	217.9	14412.2	240.2	14106.1	90.6	11873.2	197.8
\bar{T}	1497.56	24.96	1452.93	24.22	1801.53	30.03	1567.35	26.12	1484.16	24.74
$T_{1/10}$	1700.00	28.33	1843.51	30.73	2283.97	38.07	1907.63	31.79	1795.42	29.92
$T_{1/3}$	1687.37	27.97	1633.59	27.22	2229.01	37.15	1812.47	30.21	1715.27	28.59

표 3. 충주호에서의 파랑의 파고산정 (단위: m)

구분	그림 7	그림 8	그림 9	그림 10	그림 11
1	0.03441	0.02361	0.01627	0.00738	0.00945
2	0.02172	0.02355	0.01171	0.00648	0.00761
3	0.02083	0.01411	0.01103	0.00616	0.00744
4	0.02082	0.01342	0.00939	0.00557	0.00743
5	0.01994	0.01201	0.00724	0.00541	0.00697
6	0.01813	0.01131	0.00584	0.00541	0.00654
7	0.01482	0.01021	0.00566	0.00502	0.00527
8	0.01436	0.00682	0.00448	0.00428	0.00520
9	0.01397	0.00391	0.00390	0.00393	
10	0.01211			0.00205	
11	0.01123				
sum	0.20234	0.11895	0.07552	0.05169	0.05591
\bar{H}	0.01839	0.01322	0.00839	0.00517	0.00699
$H_{1/10}$	0.03441	0.02361	0.01627	0.00738	0.00945
$H_{1/3}$	0.02445	0.02042	0.01300	0.00667	0.00816